

Tecnología Espacial Aplicada a la Búsqueda de Recursos Hidrocarburíferos.

Space Technology Applied to the Search for Hydrocarbon Resources.

Germán J. Márquez, *Profesional II Ministerio del Poder Popular de Petróleo*, Javier de J. Salazar, *CEO, Inversiones Petrocum CA*

Resumen— Los consumos energéticos mundiales proyectan crecimientos relativos al 40% para el año 2040 respecto al 2016; en las siguientes dos décadas se espera que los combustibles fósiles representen el 76,6% del total del consumo energético, (Informe de perspectivas mundiales de petróleo OPEP 2016). Estas estadísticas permiten inferir la importancia que tienen el sector hidrocarburíferos para mantener la demanda de energía a nivel mundial. No obstante, los analistas petroleros refieren al cenit del petróleo y los hidrocarburos de fácil acceso y bajo costo alcanzaron su tope y van en descenso, situación que amerita realizar exploraciones en campos con altos riesgos y dificultades. Esta situación, requiere del uso de técnicas revolucionarias de exploración, que considerando los avances de los sensores remotos y adelantos tecnológicos en procesamiento de información, se ha desarrollado una geofísica moderna, basada en modelos matemáticos y algorítmicos propios, dando paso a la prospección de subsuelo, tecnología analítica basada en imágenes satelitales que interpreta y cuantifica los efectos de los procesos y las características geológicas del subsuelo sobre la superficie de la Tierra. Así mismo, aporta innovación al proceso de exploración y aborda desafíos tales como: detección de hidrocarburos en yacimientos convencionales, no convencionales, minerales homogéneos y heterogéneos, áreas de gran longitud, ausencia de datos de subsuelo, geología compleja, carencia, ausencia o mala calidad de datos sísmicos, contacto agua-petróleo y cálculos de cuantificación de reservas anticipadas, entre otros.

Palabras clave— Consumos energéticos, combustibles, tecnología espacial, STEP.

Abstract— The world's energy consumption projects growth of 40% by 2040 compared to 2016; in the next two decades, fossil fuels are expected to represent 76.6% of total energy consumption, (OPEC World Petroleum Outlook Report 2016). These statistics allow inferring the importance of the hydrocarbon sector to maintain the demand for energy worldwide. However, oil analysts refer to the peak of oil and hydrocarbons easily accessible and low cost reached their top and go down, a situation that merits exploration in fields with high risks and difficulties. This situation requires the use of revolutionary exploration techniques, which considering the advances of remote sensors and technological advances in information processing, has developed a modern

geophysics, based on mathematical and algorithmic models, giving way to the prospection of subsoil, analytical technology based on satellite images that interprets and quantifies the effects of the processes and the geological characteristics of the subsoil on the surface of the Earth. Likewise, it brings innovation to the exploration process and addresses challenges such as: detection of hydrocarbons in conventional, non-conventional deposits, homogeneous and heterogeneous minerals, areas of great length, absence of subsoil data, complex geology, lack, absence or bad quality of seismic data, water-oil contact and calculations of quantification of advanced reserves, among others.

Index Terms— Energy consumption, fuels, space technology, STEP.

I. INTRODUCCIÓN

El petróleo como principal fuente energética y económica, es considerada hoy en día como la materia prima más importante de la civilización, porque se ha introducido al mundo moderno como un asunto estratégico que constituye la columna vertebral del desarrollo y el progreso del planeta, tanto en países productores como consumidores, esto es debido a que los recursos hidrocarburíferos mantienen una íntima relación con la economía, la geopolítica internacional, el ambiente e incluso en la interpretación del nacimiento de una diversidad de régimen fiscales en naciones que conllevan al control y seguimiento de manera eficiente en las actividades petroleras.

Este recurso desde su aparición comenzó a desplazar las fuentes energéticas existentes, su uso sigue siendo el más demandado a nivel mundial. Las diferentes agencias energéticas estiman crecimientos en la demanda para las próximas dos décadas, donde se proyectan los consumos de las diferentes formas de energías existentes. Se puede observar el aumento positivo, pero poco significativo de las energías alternativas, ya que el mayor porcentaje de energía primaria proviene del petróleo, siguiéndole el carbón y ubicándose en tercera posición el gas natural. Esta condición en cuanto a las expectativas de consumo varía a futuro dependiendo la fuente consultada, sin embargo, lo que queda esclarecido es que la

Este trabajo fue enviado al II Congreso Venezolano de Tecnología Espacial en el mes de septiembre del año 2017.

G. J. Márquez, Profesional II. Ministerio del Poder Popular de Petróleo. Dirección Regional Maracaibo. Av. 5 de Julio. Edificio Ministerial. Maracaibo. Zulia (Correo electrónico: gemarquez@menpet.gob.ve).

J. J. Salazar, CEO, Inversiones Petrocum CA. Av. Intercomunal, C.C. Carmen, local 5-6. Cabimas, Zulia. (Correo electrónico: ingjaviersalazar@gmail.com).

sumatoria del aporte energético de los combustibles fósiles es mayor al 70%.

Esta industria a dando avances gigantescos para el desarrollo y explotación de yacimientos, instalando infraestructuras en muchas partes del mundo, sin embargos los primeros campos descubiertos se encuentran en etapa madura o de agotamiento. En este sentido, la industria petrolera está obligada a incursionar en nuevas fronteras debiendo buscar recursos en zonas más riesgosas, geográficamente inaccesibles, tanto en tierra como en el mar, más profundas y hostiles, y en las que habrá que superar muchos impedimentos antes de hacer contacto con los yacimientos.

Considerando lo anteriormente descrito, las empresas que realizan trabajos exploratorios para identificar hidrocarburos se enfrenta al gran reto de combinar datos e información disponibles para establecer la viabilidad de encarar proyectos exploratorios, por tal razón, debe apoyarse en técnicas tradicionales y en avances tecnológicos que permitan disminuir los niveles de incertidumbre y sustentar las decisiones a tomar para emprender los trabajos de perforación en prospectos previamente identificados.

En este sentido, comienzan a surgir consideraciones alternativas para mejorar la ubicación y cuantificación de reservas. Bajo estos escenarios, comienza la tecnología satelital de exploración avanzada en la identificación de yacimientos de hidrocarburos, conjuntamente con geología de superficie, geoquímica y geofísica.

La utilización de imágenes satelitales permite realizar las tareas de exploración geológica de una manera más económica y eficiente. El auge de tecnologías cada vez más complejas para los sensores remotos de teledetección, con mayor utilización del espectro de banda electromagnético, han permitido adquirir información que mediante revolucionaras técnicas de procesamiento consienten el desarrollo de trabajos exploratorios. Para Peguero (2012), en la industria, los sensores son dispositivos encargados de percibir las variables físicas, tales como: presión, temperatura, pH, nivel, flujo, entre otras, controladas por un sistema que sigue una serie de instrucciones para verificar si el proceso está o no está funcionando.

Con base a lo anterior, dadas las ventajas del uso de los sensores, la existencia ordenadores digitales y la afinidad con estos instrumentos, ha sido viable el desarrollo aplicaciones dada a la investigación de la corteza terrestres y subsuelo, entrando en los escenarios de la exploración de hidrocarburos, minerales entre otros. En este particular los sensores remotos como otra herramienta para la interpretación geológica, alcanza mayor relevancia al ser correlacionada con otras técnicas geológica disponibles.

Con relación a lo descrito anteriormente, en la presente investigación se analizará el uso de la tecnología satelital en la exploración de yacimientos hidrocarburíferos, como técnica auxiliar y de evolución en la búsqueda de reservas y/o prospectos potenciales.

II. OBJETIVO

La presente investigación tiene como objetivo analizar el uso de la tecnología espacial en la búsqueda de recursos hidrocarburíferos.

III. MARCO TEORICO

A. Teledetección o percepción remota.

Es el proceso de adquirir información de un objeto o un fenómeno por medio de un instrumento de medición o de recolección de datos en tiempo real, el cual no está en contacto físico o cercano con el objeto que está siendo estudiado. Las vías de recolección de datos pueden ser aerotransportadas, satélite, boyas o embarcaciones.

B. Componentes de un sistema de teledetección.

Los elementos básicos que influyen en la Teledetección son:

- Fuente de energía: Representa de donde proviene la radiación electromagnética que es captada por el sensor; provenientes desde un foco exterior al sensor (sol), o emitida por el mismo.

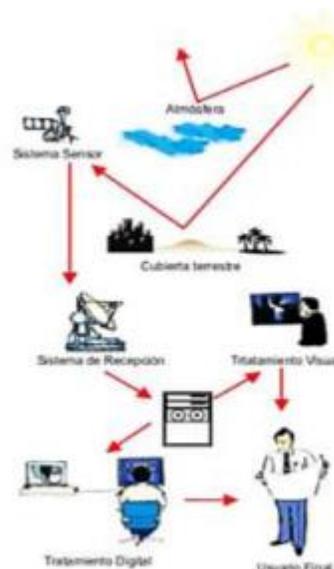


Fig. 1. Sistema de teledetección.

Fuente: Inversiones PETROCUM.CA (2012)

- Superficie terrestre: Corresponde a todas las coberturas que se encuentran en la superficie terrestre, vegetación, agua, construcciones humanas, etc. Que absorben y reflejan la señal energética según sus propias características físicas.
- Sistema sensor: Compuesto por el sensor y la plataforma satelital en que se encuentra; es el que recepciona la información de las cubiertas, las codifica, las almacena y posteriormente las envía al sistema de recepción.
- Sistema de recepción: Recibe y graba la información emitida por el satélite, realizándoles algunas correcciones y las distribuye.
- Interpretación: Convierte la información según las necesidades propias, realizando tratamiento visual y digital, para el estudio que esté realizando.

C. Fundamento físico de la teledetección.

Teledetección es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material, en nuestro caso se trata de objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos y el sensor. En este caso la interacción va a ser un flujo de radiación que parte de los

objetos y se dirige hacia el sensor. Este flujo puede ser, en cuanto a su origen, de tres tipos:

- Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado).
- Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico).
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar).

Las técnicas basadas en los dos primeros tipos se conocen como teledetección pasiva y la última como teledetección activa.

D. Radiación electromagnética

En la naturaleza la luz visible es una de las muchas formas de radiación electromagnética. Las ondas de radio, las microondas, rayos ultravioletas y rayos-x, son diferentes formas de ondas electromagnéticas. Son energía pura en formas de campos de fuerza eléctricos y magnéticos unidos que se transmiten en longitud de onda.

La radiación eléctrica es transportada por una onda en un campo electromagnético o como un flujo de partículas, llamado fotones y que no tiene masa. Los fotones con la energía más alta corresponden a las longitudes de ondas más cortas.

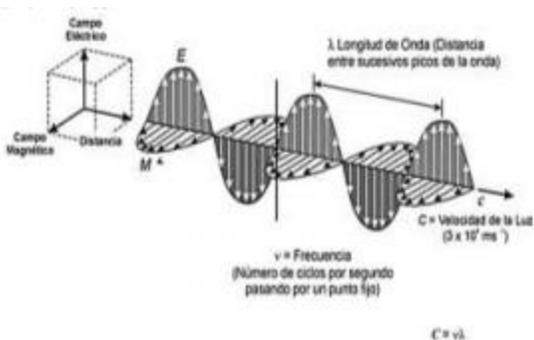


Fig. 2. Radiación electromagnética.
Fuente: Pérez (2007).

Todas estas formas de energías son intrínsecamente similares y se irradian de acuerdo con la teoría básica de ondas, la cual describe la propagación de la energía electromagnética en forma armónica y sinusoidal a la velocidad de la luz. La distancia de un máximo de ondas al siguiente es la longitud de onda y el número de picos que pasan por un punto fijo en el espacio por unidad de tiempo es la frecuencia. De acuerdo a la física básica, las ondas cumplen con la siguiente ecuación:

$$C = \nu \cdot \lambda, \nu = C/\lambda \quad (1)$$

Donde C es la velocidad de la luz con un valor constante (3×10^8 m/seg), ν es la frecuencia de la luz en hercios (Hz) o ciclos por segundo, y λ (lambda) es la longitud de onda de la luz en metros.

E. El espectro electromagnético.

El espectro electromagnético es la distribución de la radiación electromagnética según la energía. Las regiones del espectro electromagnético se definen según, longitud de onda, frecuencia y energía. Por ejemplo, el sol, la tierra, y otros cuerpos irradian energía electromagnética de varias longitudes de onda. La energía electromagnética atraviesa el espacio a la

velocidad de la luz en forma de ondas del sinusoidal. En sensores remotos es muy común caracterizar las ondas electromagnéticas en función de su posición, dentro del espectro electromagnético. La unidad más usada para medir las longitudes de ondas a lo largo del espectro electromagnético es el micrón ($1 \mu\text{m} = 10^{-6}$ m). El rango de longitudes de ondas del espectro electromagnético se extiende desde la radiación cósmica hasta las ondas de radio.

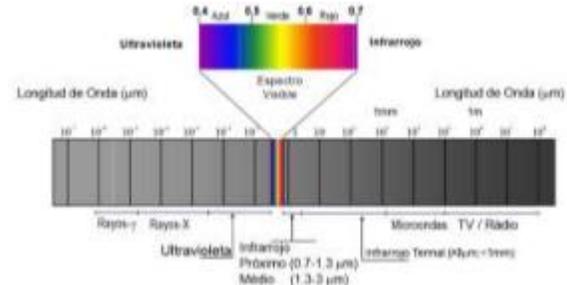


Fig. 3. Espectro electromagnético.
Fuente: Pérez (2007)

Si bien se asignan nombres como ultravioleta, visible o microondas a algunas regiones del espectro, no hay un corte neto entre una región y la siguiente. Las divisiones en el espectro surgen a partir de los distintos métodos para detectar cada tipo de radiación más que de las diferencias intrínsecas en las características de la energía en las distintas longitudes de onda.

La región del espectro visible es muy pequeña, debido a que la sensibilidad espectral del ojo humano se extiende sólo desde los $0,4 \mu\text{m}$ hasta aproximadamente $0,7 \mu\text{m}$. El color azul corresponde de $0,4$ a $0,5 \mu\text{m}$, el verde de $0,5$ a $0,6 \mu\text{m}$ y el rojo de $0,6$ a $0,7 \mu\text{m}$. Estas radiaciones son una porción muy pequeña del espectro electromagnético, son registradas por emulsiones fotográficas y por radiómetros que operan en estas bandas. En esta región del visible se produce el máximo de energía solar que llega a la tierra.

La energía ultravioleta (UV) se encuentra junto al azul en la parte visible del espectro. Del otro lado del espectro visible y a continuación del extremo rojo hay tres categorías diferentes de ondas infrarrojas, el infrarrojo cercano ($0,7$ a $1,3 \mu\text{m}$), el infrarrojo medio ($1,3$ a $3 \mu\text{m}$) y el infrarrojo termal (más allá de $3 \mu\text{m}$ y hasta menos de 1mm).

Las regiones localizadas entre 1 y $2,5 \mu\text{m}$ corresponde al infrarrojo próximo de reflexión, y es donde la intensidad radiación solar reflejada es aún dominante. Las radiaciones de estas longitudes de onda se registran por medio de radiómetros. Esta región es de gran interés en la ciencia de la tierra, ya que dentro de ella se origina gran parte de las absorciones que caracterizan el espectro de ciertos minerales y rocas.

El infrarrojo medio es la región de transición solar entre la radiación solar (reflexión) y la radiación terrestre (emisión), aunque la emisión es dominante. El poder de reflectividad de la energía solar que llega a la tierra decrece a medida que aumenta la longitud de onda, hasta alcanzar un punto en el que la radiación emitida por la superficie terrestre es dominante. La región entre 4 a $22 \mu\text{m}$ corresponde al infrarrojo termal, ya que en ella se localizan el espectro emisor de la superficie terrestre. El máximo de la emisividad espectral se sitúa alrededor de $10 \mu\text{m}$, por lo que la ventana más utilizada por los sensores remotos es la de 8 a $12 \mu\text{m}$. Las longitudes de ondas más largas,

de 1 mm a 1 m, corresponde a la porción del espectro de las microondas y suele hablarse de frecuencia de 1 y 10 Hz. Estas radiaciones se propagan muy bien en la atmósfera, independientemente de las condiciones atmosféricas.

F. Firma espectral.

Una vez que la energía electromagnética llega a la superficie terrestre, interactúa con cada tipo de material ya sea por reflexión, absorción o transmisión, de acuerdo a un patrón de respuesta espectral particular. Este comportamiento distintivo de cada tipo de material es aprovechado en procesos de clasificación de imágenes, siendo común referirse a él como "firma espectral".

Su determinación en forma consistente presenta algunas dificultades asociadas a las siguientes razones: La vegetación tiene un comportamiento dinámico debido a los cambios fenológicos que ocurren estacionalmente. Esto significa que su firma espectral cambia durante el año. Las condiciones de iluminación asociadas a la topografía (pendiente y orientación), la posición del sol durante el año, y las condiciones de humedad del suelo y la vegetación pueden significar variaciones importantes en el patrón de respuesta espectral.

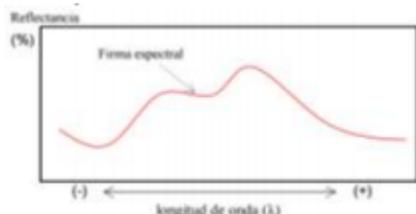


Gráfico 1. Representación gráfica de una firma espectral una de cobertura de suelo cualquiera (% indica reflectividad). Fuente: Hernández (2011)

Debido a la resolución espacial de la mayoría de los sensores, la información contenida en un píxel es el resultado de una mezcla espectral de varios tipos de materiales. Por ejemplo, en el caso del satélite LANDSAT 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) el área asociada a un único píxel (30 x 30 m) puede estar compuesta por vegetación herbácea, vegetación arbórea, suelo desnudo y pavimento, todo lo cual queda registrado en un único nivel digital.

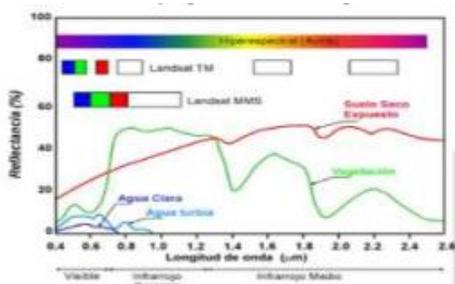


Gráfico 2. Curvas espectrales características de diferentes materiales. Fuente: Pérez (2007)

La firma espectral se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético. Una forma gráfica de estudiar este comportamiento es disponer los datos de reflectancia (%) en el eje Y y la longitud de onda λ en el eje X.

Todos los materiales presentan respuestas espectrales características que se pueden detectar usando sensores ópticos electrónicos capaces de detectar energía en la región infrarroja reflejada y térmica. Estos instrumentos pueden ser usados a nivel terrestre, en campo o en laboratorio, o montados en plataformas aéreas o satelitales. El gráfico muestra como reflejan la energía en el espectro visible e infrarrojo, los tres elementos dominantes en la superficie terrestre: suelo, vegetación y agua. Cada una de estas curvas es característica del elemento indicado y representa su firma espectral.

G. Comportamiento espectral de la vegetación.

La curva de reflectancia espectral típica de la vegetación verde y sana, muestra picos y valles. En la vegetación el nivel de reflectancia se ve modificado principalmente por factores como: los tipos de pigmentos, estructura de las hojas y el contenido de humedad.

Las plantas usan la energía solar para convertir agua y dióxido de carbono a carbohidratos y oxígeno a través del proceso de fotosíntesis. El catalizador para la fotosíntesis es la clorofila del pigmento, un compuesto orgánico complejo que contiene hierro. La función de la clorofila es absorber la radiación solar. La clorofila tiene una fuerte absorción entre los 0,45 y 0,67 por esto, nuestros ojos perciben la vegetación saludable de color verde, debido a la absorción muy alta de la energía de las longitudes de onda del azul y rojo por las hojas de las plantas y la reflexión alta de energía verde.

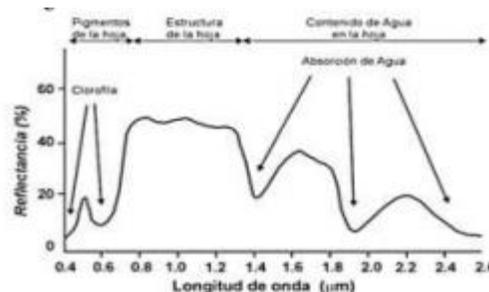


Gráfico 3. Curva espectral de una hoja. Fuente: Fuente: Pérez (2007)

Cuando una planta sufre cualquier tipo de estrés, disminuye la producción de clorofila; causando una disminución en la absorción en las bandas del azul y rojo. Así, aumenta la reflectancia en el rojo dando una apariencia amarillenta a la planta (combinación de rojo y verde). La reflectancia de la vegetación aumenta hacia el infrarrojo cercano, con un fuerte aumento de los rangos 0,7 a 1,3 μm , donde la hoja de una planta refleja del 40 al 50% de la energía incidente. Luego muestra incrementos a 1,6 y 2,2 μm . La curva muestra mínimo a 1,4; 1,9 y 2,7 μm debido a la absorción del agua en la hoja e esas longitudes de onda.

H. Comportamiento espectral de tipos de suelo.

Algunos de los factores que afectan la curva de reflectancia del suelo son, el volumen de humedad, textura superficial y granulometría, presencia óxido férrico y contenido de materia orgánica. El contenido de agua produce una disminución general en la reflectividad, produciendo bandas de absorción a 1,4; 1,9 2,7 μm (suelos con arcillas y arenosos, producen bandas de absorción a 1,4; 1,9 y 2,7 μm).

El volumen de humedad está relacionado con la textura

superficial. Suelos ásperos tienen buen drenaje, resultando un bajo contenido de humedad y alta reflectancia. En cambio, suelos con sedimentos finos tendrán bajo drenajes y relativamente alto contenido de humedad dando una baja reflectancia.

En resumen, a mayor contenido de humedad del suelo, más bajo es el valor de reflectividad. Por otro lado, en ausencia de agua, las toscas parecerán más oscuras que las tierras de textura fina. Otros dos factores que reducen la reflectancia de los suelos son, la textura superficial y el volumen de materia orgánica. La presencia de óxido de hierro en los suelos, produce una disminución en la reflectividad en la longitud de onda visible.

I. Comportamiento espectral de las rocas y minerales.

Considera Riaza (2000), que los rasgos que caracterizan las respuestas espectrales de los minerales y rocas dependen de los procesos electrónicos y transiciones vibracionales, que ocurren en la estructura atómica y molecular de los mismos. Las diferencias en las longitudes de ondas, entre estos pueden servir para discriminar materiales con distinta composición mineralógica. Se consideran los efectos de las rocas y minerales en los tres mayores rangos de las longitudes de onda de la radiación electromagnética, 0.4-2.5 μm [visible, 0.4-0.7 μm ; very near-infrared (VNIR) o infrarrojo cercano, 0.7-1300 μm ; short-wave infrared (SWIR) o infrarrojo medio, 1.3-3.0 μm]; 8-14 μm termal MIR; y las microondas (1 mm-30 cm).

Los procesos electrónicos dentro de un átomo, están asociados a intercambios de energía; por lo que pueden ocupar orbitas específica con determinados niveles de energía. Los componentes más comunes de las rocas y minerales son oxígeno, silicio y aluminio; con variables proporcionales de hierro, magnesio, calcio, sodio y potasio; y una pequeña cantidad de otros elementos. El oxígeno, silicio y aluminio tienen poco o nada de efecto en los espectros del visible al infrarrojo cercano. Sin embargo, ellos existen como iones con diferentes valencias, pudiendo tener un proceso de transferencia de carga con los metales de transición del hierro como, cobre, níquel, cromo, cobalto, magnesio, vanadio, titanio y escandio.

El fenómeno más común de carga de transferencia en la migración de electrones desde el hierro al oxígeno, y el resultado es una banda de absorción ancha de longitud de onda más corto que 0,55 μm . El Fe^{2+} a Fe^{3+} produce absorciones a 0,48 y 0,92 μm .

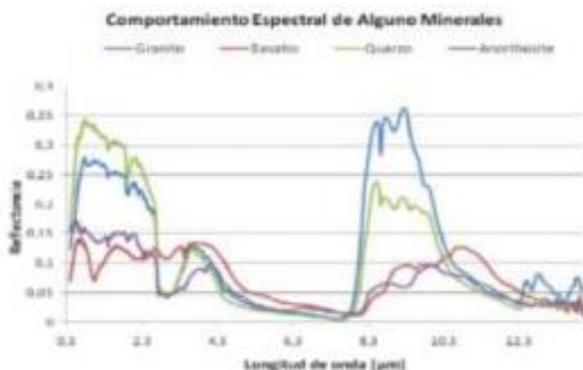


Gráfico 5. Comportamiento espectral de algunos minerales.
Fuente: Hernández (2011)

En la región del visible (0,4 a 0,7 μm) al infrarrojo próximo SWIR (0,7 a 2,5 μm), aparecen minerales con espectro de absorción característicos. En este caso las transiciones de vibración están asociadas a la presencia de ión hidroxilo OH y/o moléculas de agua. Esta última produce una fuerte absorción a los 1,4 y 1,9 μm . El ión hidroxilo OH muy frecuente en los silicatos absorbe a los 2,77 μm .

En el infrarrojo termal, región del espectro de 8 14 μm , los procesos vibracionales actúan en las estructuras moleculares de los silicatos, dando la configuración del espectro y permitiendo diferenciar las rocas silicatadas. El cuarzo presenta un mínimo de emisividad a 8.5 μm , mientras que la olivina a 10 μm . En esta banda es máximo el flujo térmico que emite la superficie terrestre, lo que permite diferenciar ciertos materiales. El estudio espectral de los minerales permite mediante técnicas geomáticas la detección de minerales de alteración que son de alto interés a la hora de ubicar algunos yacimientos, acumulaciones de minerales y/o zonas de alteración hidrotermal (Riaza, 2000).

J. Comportamiento espectral del agua.

Para Riaza (2000), las características más distintivas de la curva de reflectancia del agua, es que absorbe la energía incidente en la longitud de onda del infrarrojo próximo (0,7 a 1,3 μm) y medio (1,3 a 3,0). La reflectancia del agua es compleja y depende de diferentes factores interrelacionados entre sí. Por ejemplo, el espesor del cuerpo de agua (profundidad), contenido de materiales en suspensión y rugosidad de la superficie.

La mayor reflectividad del agua se produce en el espectro del azul (0,4 a 0,5 μm) reduciéndose hacia el infrarrojo próximo (0,7 a 1,3 μm). Las variaciones del espectro de agua se detectan en las longitudes de onda más cortas del visible (azul, 0,4 a 0,5 μm y verde, 0,5 a 0,6 μm). Aguas con grandes cantidades de sedimentos en suspensión y plancton, produce un aumento de la reflectancia en el visible. Además, la reflectancia del agua cambia con el contenido de clorofila. El aumento en el contenido de clorofila, producen una disminución de reflectancia en el azul, y un incremento en el verde. La nieve presenta un comportamiento espectral diferente del agua, con una reflectividad muy elevada en las bandas del visible reduciéndose hacia el infrarrojo próximo.

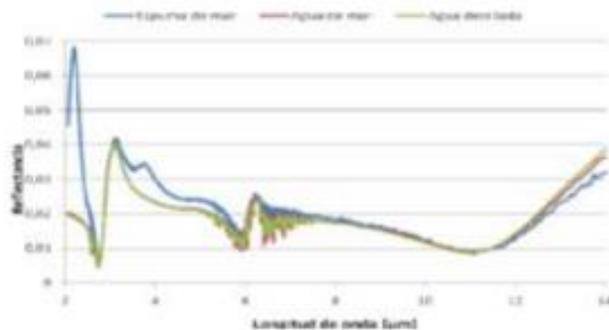


Gráfico 6. Comportamiento espectral del agua.
Fuente: Fuente: Hernández (2011)

En resumen, hay muchas interrelaciones complejas en el espectro del agua y el monitoreo de la misma, puede ser muy bien utilizado en la determinación de diferentes elementos para diferentes disciplinas (biología, geología, mineralogía, ambiental entre otros).

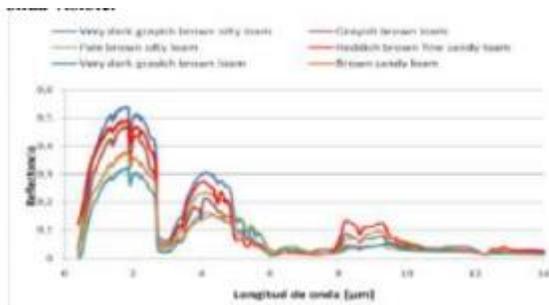


Gráfico 4. Comportamiento espectral de algunos tipos de suelos.
Fuente: Hernández (2011)

K. Sensores remotos

Para Peguero (2012), un sensor es un elemento idóneo para tomar, percibir o “sensar” una señal física proveniente del medio ambiente y convertirla en una señal de naturaleza “transducible”. De este modo un sensor o captador convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica o magnética. Los sensores proporcionan la información al control en forma de variables individuales del proceso. Las variables de estado del proceso son, por ejemplo, variables físicas como temperatura, presión, fuerza, longitud, ángulo de giro, nivel, caudal, entre otros. Hay sensores para la mayoría de estas variables físicas, que reaccionan con cada una de ellas y transfieren las correspondientes señales.

L. Tipos de sensores remotos.

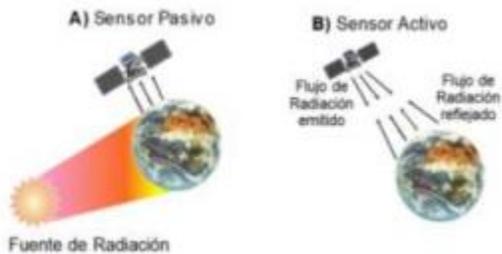


Fig. 5. Tipos de sensores remotos.
Fuente: Pérez (2007)

Existen dos clases de sensores remotos, los pasivos y los activos.

- Sensores pasivos: Están limitados a recopilar y almacenar la energía electromagnética emitida por las cubiertas terrestres, que son reflejadas por los rayos solares o provenientes de su propia temperatura. Estos sensores se clasifican en: sensores fotográficos (cámaras fotográficas), sensores óptico-electrónicos (exploradores de barrido y empuje, y las cámaras de vidicon), y los sensores de antena (radiómetros de microondas).
- Sensores activos: Tienen la capacidad de emitir su propio haz de energía, que luego de la reflexión sobre la superficie terrestre es recibido por el satélite. El sensor más conocido es el radar (radiómetro activo de microondas), el que puede trabajar en cualquier condición atmosférica. El otro sensor conocido es el Lidar.

M. Resolución de un sistema sensor.

La resolución de un sistema sensor como su habilidad para discriminar información de detalle; depende del efecto combinado de todos sus componentes físicos del sistema. En las

imágenes satelitales se consideran los siguientes tipos de resolución:

- Resolución espacial: Es la capacidad que tiene el sensor de distinguir el objeto más pequeño sobre la imagen. Este objeto se visualiza en la unidad mínima de información representada en la imagen, al que se le denomina píxel (píxel: es un elemento de una imagen de dos dimensiones, el cual es el más pequeño e indivisible de una imagen digital).
- Resolución espectral: Es el poder que tiene un sensor para discriminar diferentes objetos (albedos) sobre la superficie terrestre. Está directamente relacionada con dos parámetros: 1) el valor del intervalo de longitudes de onda, y 2) la cantidad de bandas que el sensor puede registrar en el espectro electromagnético.

Cuando un sensor posee detectores operando en más de una banda del espectro electromagnético, el sistema se llama multiespectral, porque registra la radiación electromagnética, en varias longitudes de onda o fajas espectrales. Cuando el sensor posee más de 100 bandas, el sensor es hiperespectral. Si los intervalos de bandas que se registran son anchos, la resolución espectral será grosera (mala), mientras que, si los intervalos son estrechos, la resolución espectral será fina (buena). Es decir, cuanto mayor es el número de bandas y menor el ancho del intervalo, mayor será la resolución espectral.

- Resolución radiométrica: Esta dada por el número de niveles digitales, representando niveles de grises captados por el sensor, es decir, la resolución radiométrica es la capacidad que tiene un sensor de poder discriminar albedos con diferencias de radiación reflejada o emitida (cantidad de niveles de grises). Cuando mayor es el número de niveles de grises, mayor es la resolución. Una imagen con dos niveles (blanco y negro) tendrá menos resolución que otra imagen con 3 niveles de grises entre el blanco y el negro. El número de niveles de grises que el sensor puede detectar depende de su sistema de grabación y se expresa en función de números binarios “bits”.
- Resolución temporal: Es la frecuencia o periodicidad con que el sensor adquiere imágenes de la misma área de superficie terrestre, siempre en función de las características orbitales del satélite (altura, velocidad e inclinación) y de las características del sensor.

N. Imagen digital.

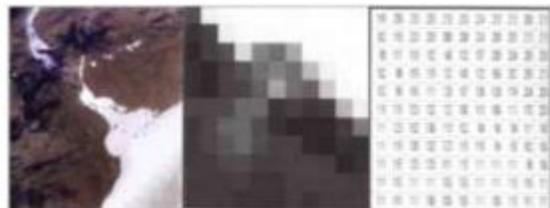


Fig.6. Carácter digital de la imagen.
Fuente: Pérez (2007)

Las imágenes obtenidas a partir de los sensores remotos son una representación digital de los objetos terrestres. Los datos de la imagen se almacenan en archivos de datos llamados “archivos de imagen”. Son sólo números y forman una imagen cuando se les ve sobre una pantalla, debido al carácter digital se le ve como una fotografía de tonos continuos de grises.

De forma generalizada, se define a una imagen digital como un arreglo de números que representa una distribución espacial de ciertos parámetros de campos, como la reflexión de energía electromagnética, emisión, temperatura, o alguna variable de elevación topográfica o geofísica (GIS Development, 2007). Una imagen digital está conformada por elementos pictóricos discretos denominados píxeles organizados en filas y columnas. Cada píxel tiene asociado un número denominado como Nivel Digital (ND), el cual representa la intensidad o brillo promedio de un área mínima relativa dentro de la escena, generalmente, el rango de niveles digitales va de 0 a 255. El tamaño de esta área mínima afecta considerablemente la captura de detalles terrestres dentro de la escena, si se reduce el tamaño de píxel se preservará mejor estos detalles terrestres en la imagen.

O. *Análisis visual de imágenes de satélite (composición color).*



Fig. 7. Composición de colores.
Fuente: Pérez (2007).

La técnica más utilizada para formar una composición en falso color, consiste en mezclar tres imágenes del mismo sitio y fecha correspondientes a distintas bandas, representando a cada una de ellas con alguno de los colores rojo, verde o azul. Los niveles digitales de cada banda, representables como una imagen monocromática, se combinan para formar otra imagen en colores.

Estos colores y tonos se emplean para la interpretación visual de las imágenes, combinando las bandas de manera que dar un primer acercamiento al contenido de la imagen. La combinación de colores permite discriminar aspectos geológicos, de vegetación, uso del suelo y morfología de zonas urbanas.

La mezcla de tres bandas espectrales para lograr el color puede realizarse por dos procesos aditivo y sustractivo. En el proceso aditivo el color se obtiene por la suma de los colores azul, verde y rojo. El proceso sustractivo se basa en la absorción de la luz que ejercen los colores complementarios. El magenta absorbe la luz del verde, el amarillo el azul, y el cian el rojo. La suma del cian, amarillo y magenta forma el negro, mientras que la superposición de los colores primarios azul, verde y rojo forma el blanco. Utilizando los colores primarios y secundarios, es posible obtener todas las tonalidades de los colores y representar cuantitativamente cualquier color como un grupo de tres números o coeficientes.

P. *Redes neuronales artificiales.*

Las Redes Neuronales Artificiales (ANN, Artificial Neural Networks), son definidas por Kohonen (1988), como un conjunto de redes interconectadas masivamente en paralelo de

elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real de mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico.

En el manual de Inversiones PETROCUM.CA (2012), se establece que este tipo de sistema y otros métodos de clasificación supervisada (por ejemplo, el enfoque Bayesiano no paramétrico, que está basado en la distribución de datos por el modelo composicional), son sistemas matemáticos adaptativo que cambia su estructura en función de la información externa o interna que fluye a través de la red durante la fase de aprendizaje. Las redes neuronales son generalmente utilizadas para modelar las relaciones complejas entre entradas y salidas o para encontrar patrones en los datos. La ventaja de los métodos que implican redes neuronales es que son de carácter general, es decir, pueden manejar los problemas que consisten en un gran número de parámetros, y pueden clasificar objetos, incluso si la distribución de los objetos en el espacio paramétrico N-dimensional es muy complejo.

En la exploración de petróleo y gas, las clasificaciones de las redes neuronales artificiales implican la creación de conjuntos de entrenamiento basados en los datos geológicos, geofísicos y satelitales conocidos, con el fin de identificar las áreas prospectivas de hidrocarburos. Una de las mejores formas de caracterizar un territorio es utilizar algoritmos de aprendizaje supervisados con conjuntos de entrenamiento que consisten en mapas de contornos estructurales, mapas de contorno de formaciones geológicas de hidrocarburos, y las coordenadas de los pozos productores o pozos secos. Estos conjuntos de entrenamiento forman un espacio de características Multi-dimensionales que incorpora toda la información antes mencionada. Las redes neuronales artificiales son entrenadas mediante algoritmos especiales para separar todo el volumen de datos del satélite (píxeles) dentro del espacio de características en un número finito de clases representativas del conjunto de entrenamiento.

Q. *Tecnología de prospección de subsuelo STeP®.*

La Tecnología de Prospección Sub-Terreno (STeP®), está basada en el procesamiento temático de datos provenientes de sensores remotos combinados con sofisticadas técnicas matemáticas y analíticas, y el procesamiento de mapas y datos geológicos y geofísicos. Para ello se usan algoritmos y software propios, especializados en la cuantificación de los datos resultantes y generación de información importante acerca de la geología de un área determinada, las características y la composición mineral del subsuelo.

El análisis geodinámico, mapeo geotermal, redes neuronales artificiales, estudios geomorfológicos o fotogeología, análisis morfométrico, paleo-reconstrucción, análisis métrico estructural, análisis espectrométrico son algunos de los métodos que la tecnología STeP® utiliza para obtener datos como: geología de la zona de interés, el desarrollo sedimentario de los estratos de la zona, la evaluación de presencia de zonas de generación de hidrocarburo, representaciones morfométricas y paleo-reconstructivas de determinados estratos sedimentarios, mapas patentados de anomalías espectrométricas específicamente atribuibles a la presencia de hidrocarburos., los mapas de campos de esfuerzos, las principales fallas y contornos de estructuras, mapas que muestran el punto exacto

de perforación y las profundidades de los objetivos., las secciones transversales de estructuras y áreas de interés de subsuelo.

IV. METODOLOGÍA

Sostiene De Berríos y Briceño de Gómez (2009), que muchas son las opciones que la ciencia ofrece al investigador, por una parte para orientar el conjunto de acciones que representa el esfuerzo del investigador en el afanoso compromiso de apropiarse de la teoría y declarar el tipo de investigación en el cual está trabajando, y por la otra parte, para orientar el plan de trabajo, o estrategia mediante la cual el investigador se relaciona con el contexto, entorno, ámbito o realidad, dentro de la cual analiza el fundamento teórico de la investigación.

A. Tipo de Investigación

La investigación corresponde al tipo descriptiva, de acuerdo al problema planteado y al objetivo establecido, tal como lo sustenta Arias (2012), quien plantean que la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento.

B. Diseño de la investigación

Establecido el punto anterior y considerando el mismo autor, el estudio es abordado por un diseño de investigación documental, definida como un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítico e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. En este sentido, la revisión de diferentes informes, investigaciones y trabajo técnicos asociados a la tecnología STeP® permitió la identificación y reconocimiento de la tecnología espacial en el reconocimiento de estructuras favorables para la acumulación de hidrocarburos.

V. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En esta parte se presentaran los diferentes estudios realizados por la empresa Inversiones PETROCUM, mediante la cual se puntualizan en el uso de la tecnología espacial con principal mención en los señores remotos para la toma de información y posterior análisis mediante técnicas sofisticadas de data mining (técnicas de procesamiento de datos utilizada para la búsqueda de información oculta y patrones ocultos en un conjunto de datos) que incluyen redes artificiales neuronales Kohonen (también conocida como mapas de autorganización), técnicas de reconocimiento de patrones y lógica difusa para lograr resultados relacionados a la identificación de yacimientos petroleros.

En este sentido para la existencia de un yacimiento, es necesaria la convergencia de todos los elementos presentes en un sistema petrolero. El mencionado sistema según Magoon y Dow (1994), define de forma integral y evolutiva los distintos elementos y procesos que intervienen para que una acumulación de hidrocarburos exista, desde el depocentro sedimentario de roca generadora a la trampa que lo aloja. Cada uno de estos elementos son esenciales, no obstante, la ubicación del yacimiento dependerá de la trampa petrolera, definida por los mismos autores como una estructura geológica o un arreglo

litológico que hace posible la acumulación y concentración del petróleo, manteniéndolo atrapado y sin posibilidad de escapar de los poros de una roca permeable. Su identificación puede realizarse por diferentes estudios geológicos y geofísicos, usando métodos exploratorios convencionales que son eficaces.

Este elemento es determinante y la utilización de tecnología espacial puede recolectar información en diferentes momentos y durante el tiempo definido, para posteriormente mediante técnicas y algoritmos matemáticos realizar los diferentes modelamientos para la determinación de la configuración geológica que pueda contener los hidrocarburos. No obstante, la tecnología disponible en Terra Energy Partners, es novedosa por el hecho de permitir la cuantificación de reservas hidrocarburíferos sin realizar la perforación y evaluación de ningún pozo petrolero.

A. Índice Simulado de hidrocarburos

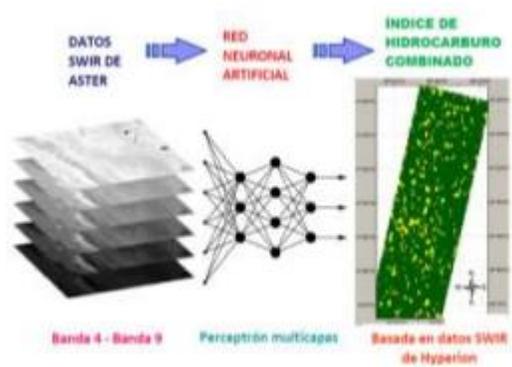


Fig. 8. Cálculo del índice de hidrocarburos simulados usando redes neuronales artificiales.

Fuente: Inversiones PETROCUM.CA (2012).

Los datos satelitales obtenidos a través de Landsat, EO-1 y Terra, pueden ser utilizados para el cálculo del número sustancial de índices espectrales: índices de vegetación diversa, agua, rocas y minerales. El satélite Terra, y los datos hiperespectrales obtenidos a través de él, son utilizados para calcular el índice de hidrocarburo (HI), que puede ser considerado como la detección directa de hidrocarburos en la superficie de la tierra. El desafío de esta exploración es que la cobertura de datos es limitada. Para solventar esta situación la compañía ha desarrollado un método sustituto, análogo al hiperespectral, un método de simulación de índice de hidrocarburos, el cual usa los datos de Landsat o EO1.

La compañía ha creado una solución para calcular el índice de hidrocarburos usando los datos de estos satélites basada en redes neuronales supervisadas (Figura 8). No solo esta solución permite el cálculo del índice de hidrocarburo HI en áreas de cualquier tamaño e independientes de la cobertura de EO1 o Landsat, sino que también ayuda a obtener los “datos hiperespectrales calculados” (“calculated hyperspectral data”) los cuales a su vez se pueden usar para análisis adicionales pertinentes.

B. Mapeo geológico con sensores remotos

Los mapas geológicos están basados en la diferencia en las características físicas y químicas de las rocas las cuales indican la diferenciación de la intensidad de la radiación solar reflejada, capturada usando sistemas satelitales que registran datos en el rango óptico (VNIR), bandas infrarrojas de corta longitud de

onda (SWIR) y larga longitud de onda (TIR). Los espectroradiómetros más ampliamente usados para la adquisición de datos para la realización de mapas geológicos a mediana escala es recibida a través de los satélites Terra y Landsat.



Fig. 9. Imagen satelital de un depósito de polimetales en Djezkasgan. Fuente: Inversiones PETROCUM.CA (2012).

Las imágenes compuestas RGB (rojo, verde y azul) son usadas para identificar las características de la estructura tectónica del territorio estudiado. Las imágenes compuestas de color seleccionadas profesionalmente permiten discernir rocas de diferente composición litológica.

Las características técnicas de los datos satelitales de alta resolución y las capacidades de un software y hardware moderno ofrecen oportunidades únicas en el mapeo geológico en incluso amplias áreas a escalas mayores de 1:5.000. En combinación con la alta precisión de un modelo de elevación digital, el análisis de fotones, y las características cuantitativas y espectrales de litologías individuales ayudan a describir diversos afloramientos. Se consideran algunos factores visuales, estructurales, texturas, resistencia al desgaste o erosión, morfología de la superficie, espesores, y el carácter de aparición.

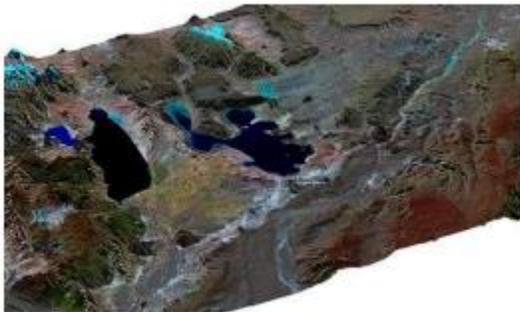


Fig. 10. Flanco norte de la cuenca del Golfo de San Jorge en 3D. Fuente: Inversiones PETROCUM.CA (2012)

C. Estudios geomorfológicos con sensores remotos.

La realización de mapas geomorfológicos permite la determinación de la estructura geológica. Imágenes multispectrales satelitales obtenidas en las sub-bandas infrarrojas óptica y cercana (VNIR) son analizadas en combinación con el modelo digital de elevación (DEM, Digital Elevation Model) desde el punto de vista geológico. Una reconstrucción tridimensional y una visualización de la superficie de la tierra a partir de data 3D permite la interpretación de diversos elementos geomorfológicos y la determinación de sus características cuantitativas. El método es usado para identificar estratos horizontales, monoclinales y

subverticales de las rocas, así como pliegues anticlinales y sinclinales.

Los verdaderos valores de elevación de la superficie son registrados en archivos de datos asociados al modelo digital de terreno (DTM, Digital Terrain Model) los cuales trazan líneas estructurales de relieve (corrientes, líneas de cuencas de agua, bordes de acantilados, puntos vértice y apoyo, líneas de pendientes de pliegue, líneas de marca de agua, y otros, es decir, los elementos del relieve directamente indicativos de la estructura geológica del área) y son preferibles especialmente en las aplicaciones geológicas.



Fig. 11. Estratificación horizontal de las rocas. Fuente: Inversiones PETROCUM.CA (2012)

En adición a la utilidad de la información geológica provista por rocas expuestas proporcionan información geológica, la estructura geológica puede también ser inferida por los patrones de vegetación, estos indicadores geobotánicos dependen de la especie de planta. Las características espectrales de la vegetación son afectadas por la composición litológica de las rocas y el ambiente geoquímico.

Un ejemplo es cuando los datos satelitales adquiridos se analizan para inferir la presencia de hidrocarburos a través de signos indirectos, tales como los cambios químicos, físicos o microbiológicos producidos en el subsuelo y la vegetación. Cuando el gas se filtra hacia la superficie, desplaza parcialmente el oxígeno del suelo para crear un ambiente pobre en contenido de oxígeno.

Esto afecta también el potencial de reducción-oxidación y el pH del suelo. Estos cambios se manifiestan como alteraciones de la mineralogía del suelo, tales como la formación de nuevos minerales (calcita, piritita y uranio), mediante el descoloramiento de los afloramientos de capas rojas mediante cambios electroquímicos. A su vez, estas permutaciones se reflejan en la salud o el tipo de vegetación que rodea a una filtración de gas. No solo se agota el oxígeno presente en el suelo, sino que los cambios concomitantes producidos en la solubilidad de los nutrientes del suelo se traducen en una deficiencia o exceso de los nutrientes absorbidos por las plantas. Estos efectos se pueden registrar en la respuesta espectral de la planta, detectada por los sensores ópticos del satélite.

La Figura 12 muestra la estratificación monoclinale de las rocas formando características del relieve que pueden ser claramente decodificadas usando el modelo digital de terreno (MDT). El mismo también es utilizado para determinar los parámetros cuantitativos de las ocurrencias de las rocas (azimut, ángulo de inclinación, así como también el espesor visible y actual de los estratos), para construir un modelo geológico tridimensional del área, y obtener secciones geológicas en planos arbitrariamente azimutales. El tono de color, la brillantez

relativa, las características geométricas, así como también el grado y carácter de la erosión ayudan a determinar la composición litológica. Este análisis permite identificar fiablemente los tipos de rocas sedimentarias y condiciones de su aparición, y además sacar importantes conclusiones del desarrollo tectónico del territorio.



Fig. 12. Uso del MDT, para el análisis del relieve estructural.
Fuente: Inversiones PETROCUM.CA (2012).

Las imágenes de muestra y observaciones proporcionadas son solo algunos ejemplos que ilustran las grandes oportunidades que se abren a los geocientíficos con el análisis morfológico derivado de la interpretación de las imágenes satelitales. En la aplicación de este método, se utiliza imágenes satelitales de diversas resoluciones, características espectrales y el modelo digital de terreno, para dar solución a un problema geológico y presentar un estudio geológico eficiente para identificar anomalías estructurales específicas que controlan el grado de acumulación de hidrocarburos y minerales.

La Figura 13 ilustra como estructuras anticlinales de petrolero y de gas son confinadas a estructuras sinclinales conocidas como pliegues hacia abajo o "downfolds". Cabe señalar que los estudios completos de información geológica y geofísica a priorizar acerca del área de interés no pueden ser subestimados, ya que proporcionan la base geológica para una interpretación científica precisa de los datos de sensores remotos y la delimitación exacta de las estructuras.

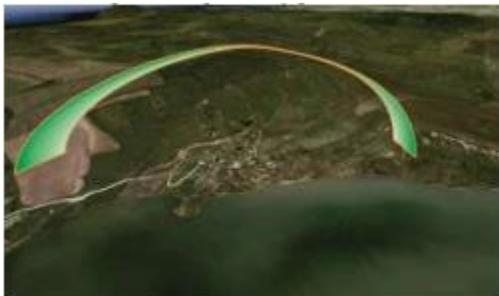


Fig. 13. Estructura anticlinal – trampa de hidrocarburos, Ucrania.
Fuente: Inversiones PETROCUM.CA (2012)

En la misma se describe una estructura anticlinal contorneada con un gradiente de pendiente. Su parte periclinal en el fondo puede ser claramente reconocida en el paisaje. La parte superior ha sido expuesta a la denudación resultante en el centro de la estructura creando una forma de relieve negativo (semejante a un anfiteatro), debido a que el núcleo arcilloso de la estructura está sujeto a una erosión intensa en comparación con la roca caliza que la rodea. Las características del relieve formado debido a los flancos de las estructuras, tonos de color, así como también el brillo espectral relativo, junto con el conocimiento de la columna estratigráfica local, ayudan a distinguir

fiablemente esta estructura como un anticlinal compuesto de sedimentos de arcilla y arena arcillosa (localmente conocida como la formación Maikop). Las rocas de las series Maikop son conocidas en la región por ser rocas reservorio propias de acumulación de hidrocarburos, y sus afloramientos indican la presencia de depósitos de petróleo y gas.

D. Mapeo geotermal con sensores remotos.

Los mapas geotermales son una herramienta única utilizada para localizar anomalías de (relativo al ambiente que la encierra) flujos de calor. El resultado depende generalmente de a radiación térmica intrínseca y reflejada de la Tierra, la atmósfera, la temperatura de diferentes ambientes físicos, y su emisividad espectral. Los sensores térmicos graban una señal, de un componente en particular el cual sólo depende de la longitud de onda, por lo tanto, no depende de las coordenadas espaciales, ya que está asociada con la radiación atmosférica, lo que es una combinación de las contribuciones de diferentes niveles, diferentes alturas y variadas temperaturas.

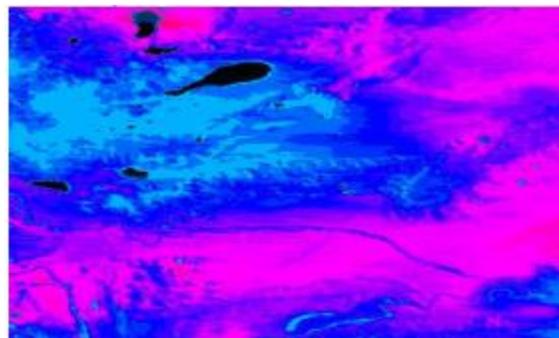


Fig. 14. Mapa térmico de hidrocarburos de la provincia, Golfo San Jorge.
Fuente: Inversiones PETROCUM.CA (2012)

El resultado de la delimitación de las zonas con anomalías geotermales (flujo de calor) mediante el uso de sensores remotos se puede llegar a conclusiones importantes relacionadas con el régimen geodinámico del territorio. Las regiones con anomalías de temperaturas positivas indican la presencia de canales de alta conductividad térmica.

En la mayoría de los casos, estos canales son zonas de desprendimiento de la corteza terrestre, los cuales son áreas de fracturamiento intenso (característico de los sitios de intersecciones de los lineamientos, unidos en bloques de corteza, estructuras locales y anomalías tectónicas). Por lo general, estas zonas se consideran "controladoras" con respecto a eventos de deposición mineral en un área dada. Las áreas de bajas temperaturas a menudo corresponden a la descarga de los acuíferos subterráneos con apariciones de rocas con baja conductividad térmica.

E. Analisis Espectrometrico.

El principio de fundamentación del análisis espectrométrico (SMA) podría ser descrito de la siguiente manera: la estructura geológica del subsuelo se manifiesta en patrones de imágenes espectrales discernibles en superficie. las características geológicas de los patrones superficiales y de subsuelo existe debido a las oscilaciones acústicas extremadamente bajas (microsisimos) de acumulaciones de sustancias ubicadas a profundidad las cuales son excitadas por la energía que emana del núcleo de la Tierra, tal como se observa en la figura 15.

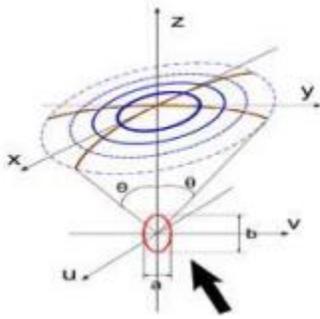


Fig. 15. Emisión sísmica primaria (flecha negra), esparcida por inconformidad geológica (elipse rojo) en medio geológico que se caracteriza por anisotropía "a", b.

Fuente: Manual TIS (2016).

Cada partícula en el subsuelo vibra (amplitud de varias micras) bajo la influencia de la energía procedente de núcleo de la Tierra (incluyendo la radiación microsísmica que es bien conocido en geología general) y a su vez emite la energía de baja potencia secundaria, aparentemente acústica, propagándose hasta la superficie en forma de un cono de 72° , identificando así los yacimientos de hidrocarburos, como lo muestra la figura 16.

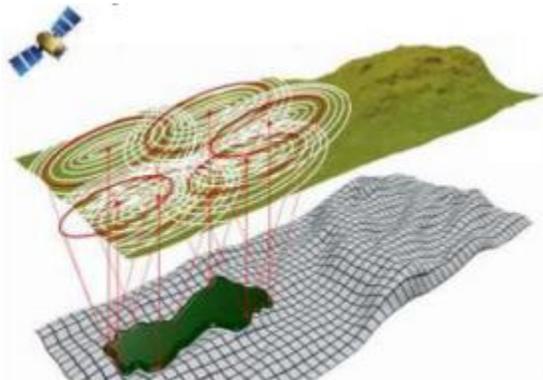


Fig. 16. Anomalías identificadas por propiedades espectrométricas.
Fuente: Inversiones PETROCUM.CA (2012)

Aunque la propagación de estas estructuras juega un papel importante, estas se correlacionan e integran con redes neuronales matemáticas denominados anomalías geoinformáticas (GIA), las cuales se han desarrollado para descubrir acumulaciones de hidrocarburos. Las GIA se calculan utilizando algoritmos propios, que procesan las diferentes imágenes que se producen en diferentes canales espectrales de las zonas prospectivas. Para cada canal espectral, o matemática combinación de múltiples canales. Para calcular la GIA para un radio dado dentro de un píxel dado será igual a un criterio espectral particular para dichas GIA's dentro de la base de datos conocida, es identificada una GIA de ese píxel en particular. El proceso antes mencionado se repite para todos los radios en relación con cada uno de los píxeles dentro de la zona de enfoque ver figura 17.

Los yacimientos de hidrocarburos y sus respectivos reservorios se pueden localizar a través del estudio de espectrometría visualizada en las imágenes de sensores remotos, para afirmar lo descrito se muestra la figura 18, que detalla estructuras circulares obtenidos de los análisis de las imágenes utilizadas en el estudio prospectivo del Colhue Huapi ubicado en Argentina.

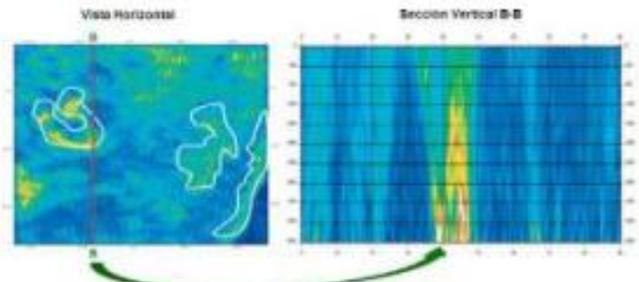


Fig. 17. Anomalía Geo-informativa y su sección transversal vertical.
Fuente: Inversiones PETROCUM.CA (2012)

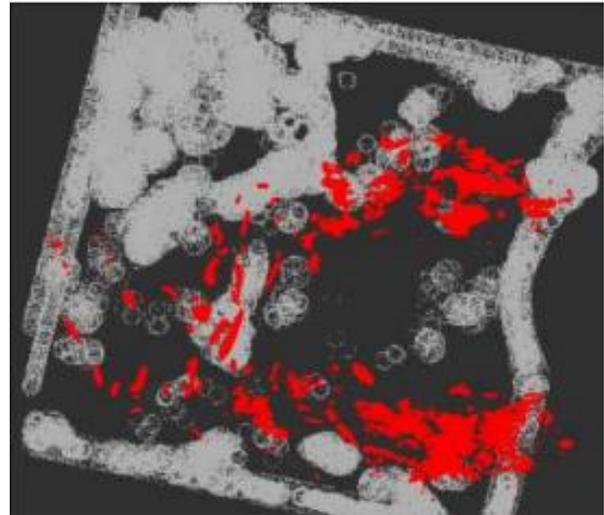


Fig. 18. Identificación de estructuras circulares Bloque Colhue Huapi.
Fuente: Proyecto chubut (2010).

El procesamiento de las imágenes captadas por sensores remotos da paso a la delineación de la anomalía de hidrocarburos, obtenidas superponiendo estas imágenes sobre las estructuras circulares detectadas resaltado la ubicación del yacimiento o reservorio (figura 19), posteriormente mediante un corte transversal se logra identificar la profundidad de las arenas contentoras de hidrocarburos, tal como se observa en la figura 20.

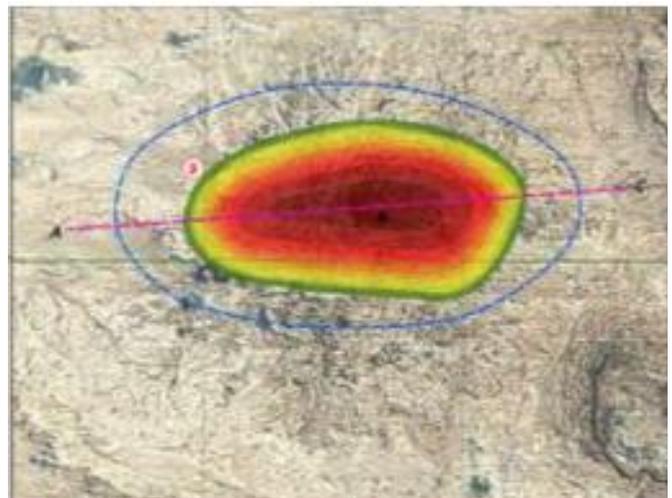


Fig. 19. Identificación del yacimiento.
Fuente: Proyecto Chubut (2010).

volúmenes de hidrocarburos acumulados el subsuelo al comprender varios métodos y técnicas analíticas computacionales y de interpretación de información proveniente de sensores remotos.

Las ventajas en tiempo, economía e impactos ambientales son sorprendentes cuando se realizan estudios exploratorios con tecnología satelital, lo que añade satisfacción y aceptación por las empresas petroleras al uso de técnicas y análisis del subsuelo, partiendo de información proveniente desde del espacio.

REFERENCES

- [1] Arias F. (2012). El Proyecto de Investigación, introducción a la metodología científica". Sexta Edición. Editorial. Episteme C.A, Caracas.
- [2] De Berríos O.; y Briceño de Gómez, M. (2009) Enfoques epistemológicos que orientan la investigación de 4to. Nivel. Revista Visión Gerencial. Edición Especial. Venezuela.
- [3] Kohonen T. (1988). An introduction to neural computing, Neural Networks, vol. 1, no. 1, pp. 3-16.
- [4] Magoon L.B. and Dow, W.G.. The Petroleum System, Chapter 1, Part 1. American Association of Petroleum Geologists, 1994. Memoir 60: 3-24.
- [5] Manual de Inversiones PETROCUM.CA (2012)
- [6] Manual de Terra Insight Services, Inc. (TIS) (2016)
- [7] Organización de Países Exportadores de Petróleo (2016). Informe de perspectivas mundiales de petróleo. © OPEC Secretariat. ISBN 978-3-9503936-2-0. Vienna, Austria.
- [8] Peguero C. (2016). TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. GEOCONSERVACIÓN, PROTECCIÓN AMBIENTAL Y DEL MEDIO FÍSICO FRENTE A RIESGOS Y CATÁSTROFES NATURALES. ONU-GE@ 21 Recursos Naturales. España.
- [9] Riaza, A., Mediavilla, R., and Santisteban, J.I., "Mapping geological stages of climate-dependent iron and clay weathering alteration and lithologically uniform sedimentary units using Thematic Mapper imagery", International Journal of Remote Sensing, 21-5, 937-950. 2000.
- [10] Proyecto Chubut (2010). Estudio Prospectivo para la identificación de hidrocarburos en el Bloque Colhue Huapi en Argentina. Terra Insight Services, Inc.
- [11] Proyecto Terraza (2011). Estudio Prospectivo para la identificación de hidrocarburos en el Bloque Terraza en Argentina. Terra Insight Services, Inc.



Germán Márquez nacido en Caracas Distrito Capital de la República Bolivariana de Venezuela. Recibe en el año 2007 el título de Ingeniero de Petróleo en la Universidad del Zulia. Así mismo realiza una Maestría en Geología Petrolera en la misma casa de estudio, titulándose en marzo del 2010. Realizo Doctorado en Ciencias Gerenciales en la Universidad Rafael Belloso Chacín, alcanzando sus meritos en noviembre del 2011, continúa su formación academica y para enero del 2013 recibe el certificado del post doctorado en Gerencia Publica y Gobierno en la misma Universidad. En la actualidad realiza un postdoctorado en ciencias Humanas en la Universidad del Zulia.

El Dr. Márquez, labora desde mayo del 2008 para el Ministerio del Poder Popular de Petróleo, desempeñándose como profesional II, con cargo de ingeniero de petróleo adscrito a la Dirección General Maracaibo. Del mismo modo es docente asociado tiempo convencional en la Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago, en el programa de ingeniería desde agosto del 2008, desempeñando actividades de docencia e investigación con participación constante en eventos académicos-técnicos nacionales e internacionales con presentaciones y publicaciones de trabajos de investigación y técnicos.



Javier Salazar. Nació en Cabimas, Estado Zulia, Venezuela. En 2005 recibió el título de Técnico Superior en Hidrocarburos, Mención Petróleo, en el Instituto Universitario Tecnológico de Cabimas. En el año 2014 recibió el título de Ingeniero en Petróleo, en la Universidad del Zulia. En el 2016 realizó su especialización de geomántica y cartografía aplicada a la Geociencia en el Instituto de Ingeniería para la investigación y Desarrollo Tecnológico en Caracas. Actualmente está realizando una Maestría en Gerencia de Innovación aplicado a nuevas tecnologías en la Universidad del Zulia.

El Ing. Javier Salazar en el año 2010 inicia su carrera en la investigación aeroespacial aplicado a las imágenes de sensores remotos para la búsqueda de hidrocarburos y minerales en el laboratorio GIS de la empresa (TIS). En el año 2012, desempeño el cargo de Integrador GIS en el departamento de integración de resultados cartográficos en la empresa IPC (Inversiones Petrocum ca). Desde el año 2015 ocupa el cargo de CEO de exploración y producción en IPC hasta la actualidad. Del mismo modo es asesor y consultor, conferencista internacional, desempeña actividades de investigaciones con participación constante en eventos académicos-técnicos con presentaciones y publicaciones de trabajos de investigación y técnicos en material de hidrocarburos y minería.