

**ÁREAS PROSPECTIVAS DE LUTITAS GASÍFERAS
EN LA FORMACIÓN COLÓN,
MUNICIPIOS TORRES Y MORAN. ESTADO LARA**

PROSPECTIVE AREAS OF GAS-SHALES IN THE FORMACIÓN COLÓN
MUNICIPALITIES TORRES AND MORAN, LARA STATE

JESÚS EDUARDO MONSALVE

RESUMEN

Este artículo surge a partir del Proyecto “Gas Shale” desarrollado entre PDVSA y la Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad de Los Andes, la investigación se enfoca en la metodología de exploración de yacimientos no convencionales de gas en la Formación Colón (Cretácico-*Maestrichtiense*), en los Municipios Torres y Morán del estado Lara. El trabajo consistió en tres etapas: en la primera; se recolectó material biblio-hemerográfico, cartográfico e imágenes de sensores remotos, las cuales se integraron mediante un Sistema de Información geográfico (SIG) y se elaboraron los mapas geológicos preliminares. La segunda etapa, consistió en visitas de campo para la descripción de los afloramientos, levantamiento de columnas estratigráficas, recolección de muestras y observación de evidencias geomorfológicas. Por último, en la etapa de oficina y laboratorio, se efectuaron ensayos de pirolisis rock eval y difracción de rayos X. Los resultados permitieron actualizar la cartografía geológica del área, determinar a través de los datos geoquímicos y sedimentológicos, la calidad de la materia orgánica, carbono orgánico total, contenido de minerales frágiles y de arcillas, por último correlacionar los datos de este estudio con resultados del proyecto de PDVSA en el occidente del país.

Palabras clave: Formación Colón, lutita, gas, prospección, yacimientos, Lara, Venezuela.

ABSTRACT

This article arises from the project “Shale Gas” PDVSA-ULA. The research focuses on the methodology of exploration of unconventional gas deposits in the Formación Colón (Cretaceous-Maestrichtian) in the Municipalities Torres y Moran in Lara State. The methodology consisted of three stages; in the first stage, the bibliographic, mapping and remote sensing imagery material was collected, which was integrated using GIS, through which preliminary geological maps were prepared. On the second field stage the study area was visited and the description of the outcrops, stratigraphic columns registers, collecting samples, and geomorphological evidence observation were done. At the laboratory stage Rock Eval pyrolysis tests and X-ray diffraction were performed. The results allowed updating the geological mapping of the area and determine through geochemical and sedimentary, data the quality of the organic matter, the total organic carbon and the fragile clay minerals content.

Keywords: Colón Formation, Shale Gas, Unconventional Reservoirs Prospecting, Lara State, GIS.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la exploración de nuevas fuentes de hidrocarburos ha cobrado especial relevancia debido a que las fuentes tradicionales están en continua disminución. Producto de esta situación desde el año 2011, PDVSA comenzó a desarrollar varios proyectos exploratorios para determinar las potencialidades de yacimientos no convencionales de gas en Venezuela. Esta investigación, forma parte de estos proyectos que buscan la definición de áreas prospectiva de gas, en formaciones lutíticas en el occidente venezolano. Para este estudio, se utilizaron como herramienta auxiliar los Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo cual permitió elaborar diversos mapas temáticos.

El gas natural procedente de fuentes no convencionales, según (Gómez, 2010), comprende tres grandes grupos de recursos: metano de capas de carbón (“*coal bed methane*” o *CBM*), gas de areniscas con baja permeabilidad (“*tight gas sands*”) y gas de lutitas (“*gas shale*”). Según el autor estos tres tipos de recursos requieren el empleo de técnicas especiales de perforación y estimulación para liberar el gas de las formaciones rocosas que lo contienen, por ello, la importancia en realizar investigaciones que permitan cuantificar las reservas de éste hidrocarburo

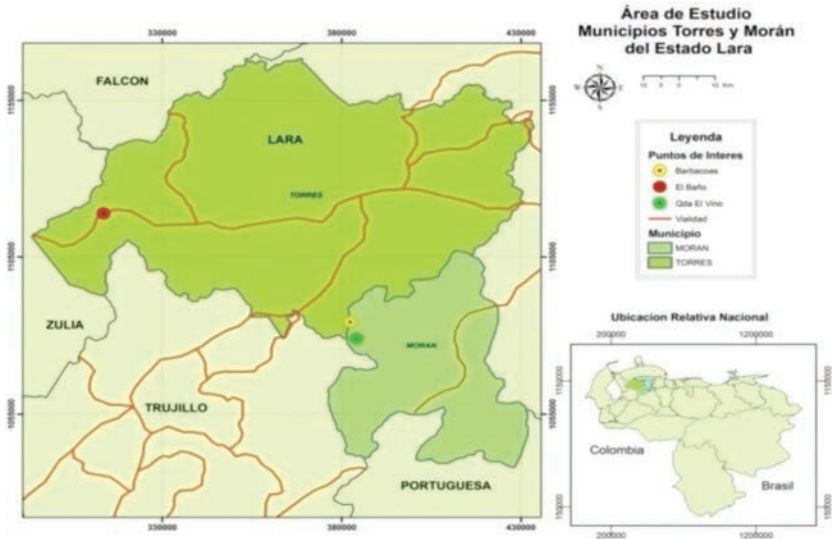
La lutita gasífera, de acuerdo a Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA, 2011), es una roca con capacidad de generación y retención de gas seco, que retiene “gas adsorbido” en la materia orgánica y “gas libre” en nanoporos y fracturas, sin necesidad de trampas o sellos convencionales, lo que le confiere una acumulación de dimensiones de carácter regional.

La zona en estudio se ubica en la región centro-occidental de Venezuela, en el estado Lara, donde se analizan tres áreas prospectivas para la Formación Colón (Cretácico-Maestrichtiense), en la zona Suroeste del estado Lara, en los municipios Torres (Sección El Baño) y Morán (Barbacoa-Quebrada El Vino), la figura 1 muestra los puntos de interés.

METODOLOGÍA

La metodología más novedosa en la prospección de lutitas gasíferas es la planteada por el *World shale gas resources: and initial assessment of 14 regions outside the United State* (Kuuskra, et al. 2011). Su análisis va desde lo más general a lo específico dividido en cinco fases: 1) estudios geológicos previos y caracterización preliminar de la cuenca y las formaciones lutíticas; 2) establecimiento del área que comprende la formación de interés; 3) definición de un área prospectiva de gas; 4)

Figura 1.
Ubicación relativa del área de estudio, en el estado Lara. Venezuela



Fuente: Elaboración propia.

estimación de riesgos y oportunidades de encontrar gas en el área; y 5) calcular los recursos de gas técnicamente recuperables con la tecnología actual.

Aplicando la metodología antes mencionada, PDVSA desarrolló las fases 1 y 2. La presente investigación está enmarcada dentro de la tercera fase, que consiste en la caracterización de un área prospectiva de gas. Para ello, fue necesario elaborar la cartografía geológica, haciendo énfasis en la Formación Colón y las estructuras presentes en la zona de estudio, así como ensayos geoquímicos y análisis sedimentológicos. El estudio se desarrolló en tres etapas: preliminar, de campo y laboratorio.

Etapas preliminar

Inició con la revisión de material bibliográfico y hemerográfico, artículos en línea y material suministrado por la gerencia de proyectos de Exploración y Producción de PDVSA Occidente, apoyados en esta información, se elaboraron los antecedentes de la investigación, análisis sobre las características estructurales y estratigráficas

regionales de la zona, así como las bases teóricas relacionadas con la prospección de lutitas gasíferas.

La caracterización de un área prospectiva implica la cartografía geológica de la zona, que es la base para las visitas de campo e interpretación de aspectos estructurales y estratigráficos, los cuales repercuten en las muestras, debido a que afectan la preservación de la materia orgánica y pueden influenciar aspectos sedimentológicos y geoquímicos de las zonas.

En la construcción de los mapas geológicos se utilizaron mapas topográficos, geológicos e imágenes satelitales. Las cartas topográficas utilizadas fueron las generadas por la Dirección de Cartografía Nacional a escala 1:25.000 (Cartografía Nacional, 1955). Los mapas geológicos examinados de la zona de Barbacoas y Humocaró Bajo, correspondientes a la tesis “*Estudio sedimentológico y estratigráfico de la secuencia del cretáceo en el sector Barbacoas-San Pedro, Estado Lara*” (Monsalve y Peña, 2001).

Las imágenes satelitales utilizadas, corresponden a las SPOT 5, con resolución espacial de 10 metros, suministradas por el Laboratorio de Procesamiento Avanzado de Imágenes Satelitales (LPAIS, 2011); a las que aplicaron procesos de mejora mediante el programa ENVI versión 4.5. El primer ajuste de las imágenes consistió en el filtrado para marcar o suavizar rasgos característicos, en este caso, rasgos estructurales, texturas, drenajes y actividad antrópica. El segundo proceso, consistió en corrección de contraste, aumentando o disminuyendo, mediante análisis estadísticos, los histogramas de las bandas, lo cual mejora la relación de colores y brillo.

El proceso para generar los mapas preliminares, se apoyó en la toma de información de las imágenes satelitales, mapas base y modelo de elevación digital (DEM). Luego se efectuó una interpretación geológica en formato digital sobre las imágenes, generándose un modelo vectorial de puntos, líneas y polígonos, mediante el cual se representaron los contactos litológicos, estructuras, drenajes, vías de acceso y la toponimia pertinente.

Etapas de campo

La etapa incluyó la descripción de los afloramientos, levantamiento de columnas, recolección de muestras, observación de evidencias geomorfológicas y estructurales.

- **Descripción de afloramientos y levantamiento de columnas:** para el levantamiento de afloramientos de la Formación Colón, se procedió a realizar una descripción general, observando las zonas de interés identificando en ellas las

posibles estructuras sedimentarias. Mediante la Tabla de colores (Munsell, 1994) se determinó el color fresco del afloramiento, el grado de meteorización, de igual manera se tomaron fotografías panorámicas, estos datos fueron plasmados en una columna estratigráfica. El control estratigráfico, permitió determinar la ubicación exacta de la muestra (tope-base) de la formación para comprender de manera integral las condiciones ambientales, en las cuales la muestra fue depositada.

- **Evidencias estructurales:** las evidencias estructurales, permitieron determinar si las muestras recolectadas son representativas y no están alteradas por la presencia de fallas geológicas u otros elementos estructurales que las afecten. El reconocimiento de estructuras geológicas, se apoyó en la verificación de la información plasmada en el mapa preliminar y las observaciones de campo, lo que permitió identificar, pliegues, alineaciones, cambios en los drenajes, estrías de falla y zonas tectonizadas.

Etapa de laboratorio y oficina

A partir de los mapas preliminares, con las correcciones surgidas de la etapa de campo y debido a que en algunas zonas de interés las imágenes Spot 5 no brindaron buen detalle, se utilizó para ambas zonas una imagen Landsat 5 TM, (NASA, 1990), con la cual se verificaron los análisis previos, los datos de campo y se procedió a la elaboración de los mapas finales. Los demás de datos fueron jerarquizados y tabulados de manera digital, mediante una aplicación de hojas de cálculos. Posteriormente, se separaron y adecuaron las muestras para los ensayos de laboratorio de pirolisis rock eval y difracción de rayos x.

Después de tabular los resultados de los ensayos dentro del área de estudio, se realizó una comparación con datos de la Formación Colón en otras áreas del occidente del país, que corresponden al mismo proyecto de PDVSA, posteriormente se plasmaron los datos suministrados en mapas regionales, realizados mediante la interpolación de una superficie ráster a partir de puntos, utilizando la función de vecinos naturales (Natural Neighbor).

RESULTADOS

Estos muestran los análisis tectónicos estructurales y los mapas diseñados; en total dos mapas geológicos, y cinco mapas de resultados sedimentológicos y geoquímicos.

Evidencias geomorfológicas y estructurales.

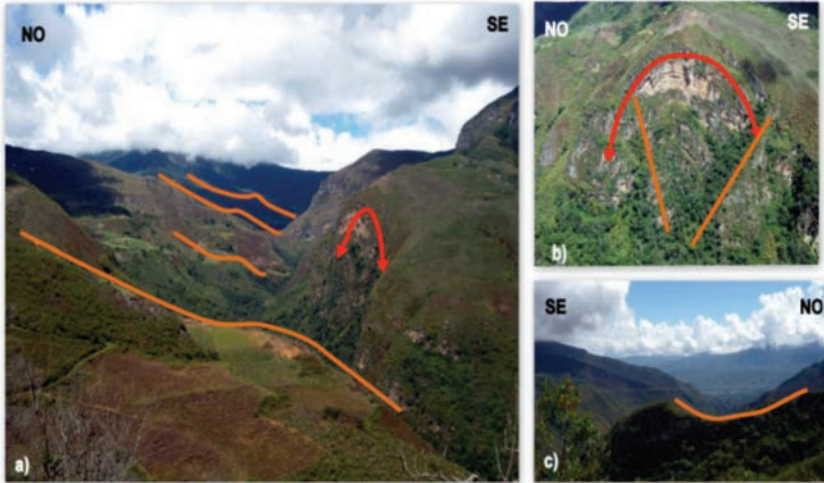
Los trabajos previos (Parnaud, *et al.* 1995; Lugo, y Mann, 1995; Lambertini, 1979; Habicht, 1960) señalan que en los estados Lara y Trujillo, la Formación Mito Juan desaparece, siendo equivalentes en tiempo geológico las lutitas de Colón, que se encuentran encima del miembro arenoso Cujisal además señalan que las Lutitas de la Formación Colón, se caracterizan por ser microfosilíferas gris oscuro a negras, macizas, piríticas y ocasionalmente micáceas o glauconíticas, son más arenosas hacia la base y hacia la parte superior. El área de estudio está separada estructuralmente de la cuenca de Maracaibo por la falla de Valera, y se enmarca dentro del bloque Trujillo, que compone el bloque tectónico mayor denominado bloque de Maracaibo (González, 2004)

Es importante destacar, que la investigación previa sobre la Formación Colón, titulada “*Litofacies y Distribución del Carbono Orgánico y Fósforo en la Formación Colón, Cuenca de Maracaibo*” (Malavé, 1994), tomó muestras para análisis geoquímicos en diversos puntos del occidente del país; sin embargo, no se efectuaron controles estructurales y sedimentológicos de las zonas, lo que pudo influir en los resultados conseguidos. Al comparar los datos de esa investigación, con el presente estudio, se pudieron cotejar y verificar sus puntos de muestreo y los controles necesarios de las muestras.

En el recorrido desde los poblados de Humocaró a Barbacoas, se observan potentes estratos de la Formación Peñas Altas, evidencias de la Falla de Hato Viejo, quiebres en la topografía, un valle alineado, cuellos de falla y se identificó la estructura en flor perteneciente al anticlinal de Las Peñas (figura 2).

Se observó una estría de falla (figura 3) con movimiento sinistral, rumbo N 7° O, así como colores de alteración de las litologías típicos de zonas de falla, todas estas evidencias confirman que las muestras son harina de falla (*Fault gouge*) que está relacionada a una zona de brecha tectónica y no pueden ser consideradas como muestras representativas. En el estudio de *Litofacies y Distribución del Carbono Orgánico* (Malavé, 1994), este punto de muestreo se consideró como lutita carbonosa, sin embargo, la presente investigación considera que la zona no es representativa y está muy alterada, y puede afectar los valores de los parámetros geoquímicos debido a que no tomó en cuenta el contexto estructural del área.

Figura 2.
Evidencias de falla Hato Viejo



- a) Evidencias geomorfológicas alineadas de la falla, vista lateral del anticlinal de La Peña.
 b) Anticlinal de la Peña vista frontal, estructura en flor.
 c) Cuello de falla alineado con las expresiones geomorfológicas de la imagen a.

Mapa Geológico

Al norte de Hato Viejo-El Vino, se visitaron dos zonas con características comunes; un tono moteado (característico de calizas) y relieve suavizado, lo que permite inferir que toda el área marcada en los polígonos corresponde a la Formación La Luna, la cual está en contacto concordante (al Norte) y en contacto por falla (Noroeste) con la Formación Peñas Altas (figura 4). Se debe aclarar que esta zona no fue visitada en su totalidad debido a que no presenta afloramientos de la Formación Colón. Por último como se mencionó en la metodología, se reinterpretó para ambas zonas una imagen Landsat 5 TM, (NASA 1990) que sirvió para completar el mapa geológico.

El análisis de los datos, permitió identificar la Falla de Hato Viejo, así como otras fallas locales en las cercanías de Barbacoas, respecto a estas fallas, el trabajo *“Analyse structurale et évolution tectonique des Andes vénézuélienne nord orientales”* (González, 2004) señala que limitan “varias mega estructuras plegadas”. Esta información se mejoró, con el análisis del modelo de elevación digital y el mapa

Figura 3.
Puntos Barbacoas



Evidencia de estría de falla que muestra movimiento sinistral y área de milonita

topográfico, en el cual existen drenajes controlados por las estructuras, cambios en el tipo de drenajes y cambios topográficos abruptos (figura 5).

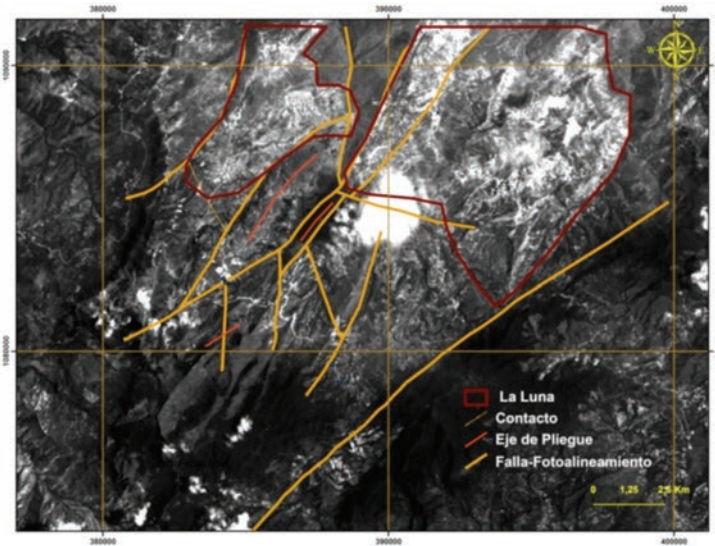
En la sección El Baño, se observó la falla de Valera, evidente por un alineamiento hacia el Norte franco, cambios en los drenajes en ángulos rectos (casi 90°), así como fallas locales asociadas. Mediante la imagen de satélite en las combinaciones de bandas falso color infrarrojo, se destaca alineamiento y abundante presencia de vegetación en la zona de falla, que presenta tonos rojos más intensos en la cercanía del afloramiento (figura 6).

Integrando los análisis de imágenes satelitales, mapas previos, datos de campo y las fotografías panorámicas del área, se elaboraron dos mapas geológicos finales a escala 1:25.000, los cuales contienen la sección El Baño y las Secciones Hato Viejo-Quebrada El Vino Barbacoas (figura 7).

Afloramientos y muestras

En las tres zonas de muestreo: la sección El Baño, Sección Hato Viejo - El Vino y Barbacoas, se levantaron cuatro afloramientos, y se recolectaron nueve muestras; una arenisca, una concreción y siete lutitas. Las observaciones de campo permitieron

Figura 4.
Identificación de la Formación La Luna



Jesús Eduardo Monsalve

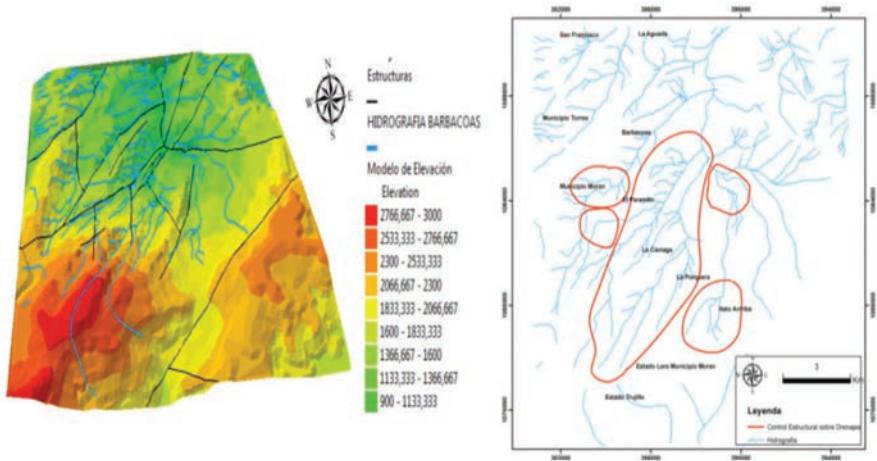
Se observa un tono moteado (característica de calizas) y texturas diferentes, así como relieve suavizado (polígonos vino tinto). Fuente: Imagen Landsat 5 TM. Banda 3

construir tres columnas estratigráficas, una por cada zona de muestreo, en ellas se plasmaron todas las características de los afloramientos, así como las evidencias estructurales que afectan las muestras. La figura 8 señala una de las columnas levantadas correspondiente a la sección El Baño, se observan los cambios litológicos, colores, espesores y coordenadas, entre otros datos.

Análisis geoquímicos y sedimentológicos

Los análisis geológicos-estructurales, permitieron identificar la alta complejidad estructural del área, factor que afecta las muestras debido a las altas presiones y temperaturas a las que han estado sometidas las rocas. Estas condiciones repercuten

Figura 5.
Modelo de Elevación y Drenajes



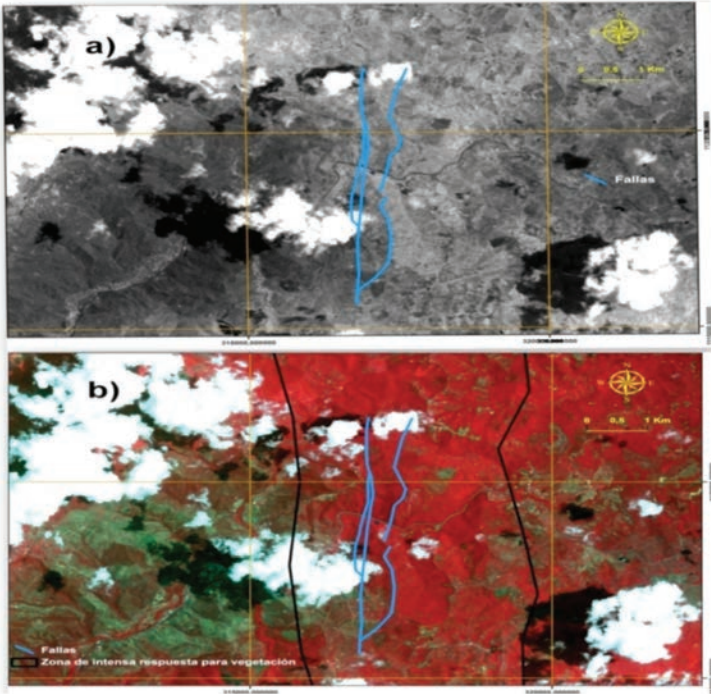
Modelo de Elevación Digital (DEM) y control estructural en los drenajes con cambio de 90° y paralelismo producto de fallas y pliegues presentes

en los resultados geoquímicos y sedimentológicos, debido a que las condiciones, de la preservación y transformación de materia orgánica son muy difíciles con esta configuración.

Geoquímica

Los aspectos analizados mediante el ensayo de pirólisis rock eval fueron: concentración de carbono orgánico total (COT), índice de hidrógeno (IH) y madurez térmica, que permitieron determinar el tipo de querógeno, el grado de madurez de la roca y el potencial de generación de hidrocarburos El cuadro 1, indica estos resultados, de acuerdo a cada punto de muestreo. Importante señalar que en primera instancia se analizan los resultados obtenidos en este trabajo posteriormente se correlacionan con datos suministrados por PDVSA en el occidente del país y por último, se comparan con el estudio de *“Litofacies y Distribución del Carbono Orgánico y Fósforo en la Formación Colón”* (Malavé, 1994).

Figura 6.
Interpretación de Imágenes Spot



a) Imagen en la banda 3, escala de grises. b) Imagen Spot 5, falso color infrarrojo, el rojo más intenso coincide con la zona de falla (hay mas vegetación) al alejarse de ella se ven tonos más grises. Fuente: LPAIS (2011)

Calidad de Materia Orgánica

La materia orgánica es un aspecto fundamental en la prospección de hidrocarburos; ya que, concentraciones de COT mayores a 2% se consideran muy buenos para la generación de gas en lutitas. Sin embargo, en las muestras analizadas en esta investigación, el valor más alto de COT es de 0,79%, valor que está muy por debajo de un valor mínimo aceptable para considerar como zona de interés.

A nivel regional, si se compara estas muestras con las de otros puntos de estudio en el occidente del país, se muestra que las mayores concentraciones se dan en

Cuadro 1.
Resultados Pirolysis Rock Eval

Nombre	Temperatura de liberación máxima de hidrocarburos por craqueo	Cantidad de hidrocarburos libres	Hidrocarburos generados por craqueo térmico	Cantidad de CO ₂ Producido durante la pirolysis	Índice de producción	Índice de Hidrogeno	Índice de Oxigeno	Carbono orgánico Total
	Tmax	S1	S2	S3	PI	HI	OI	COT(%)
El Baño Tope	510	0	0,02	0,2	0,1	8	92	0,24
El Vino	487	0	0,02	0,5	0,1	3	57	0,79
Barbacoa II	478	0	0,03	0,2	0,1	16	89	0,19
El Baño Base	486	0,01	0,02	0,3	0,2	3	38	0,65
Barbacoa I	479	0	0,02	0,2	0,1	14	121	0,14
Hato Viejo	486	0	0,01	0,4	0,2	5	159	0,22

Figura 7.
Mapas Geológicos Finales de la Sección El Baño y Barbacoas Quebrada El Vino

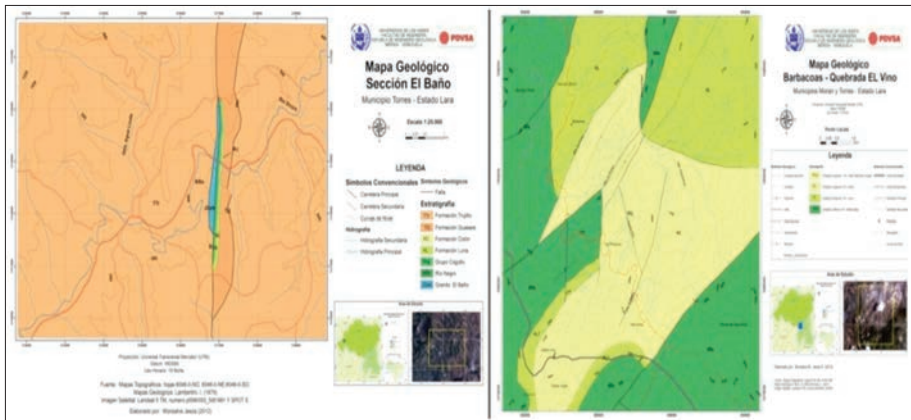
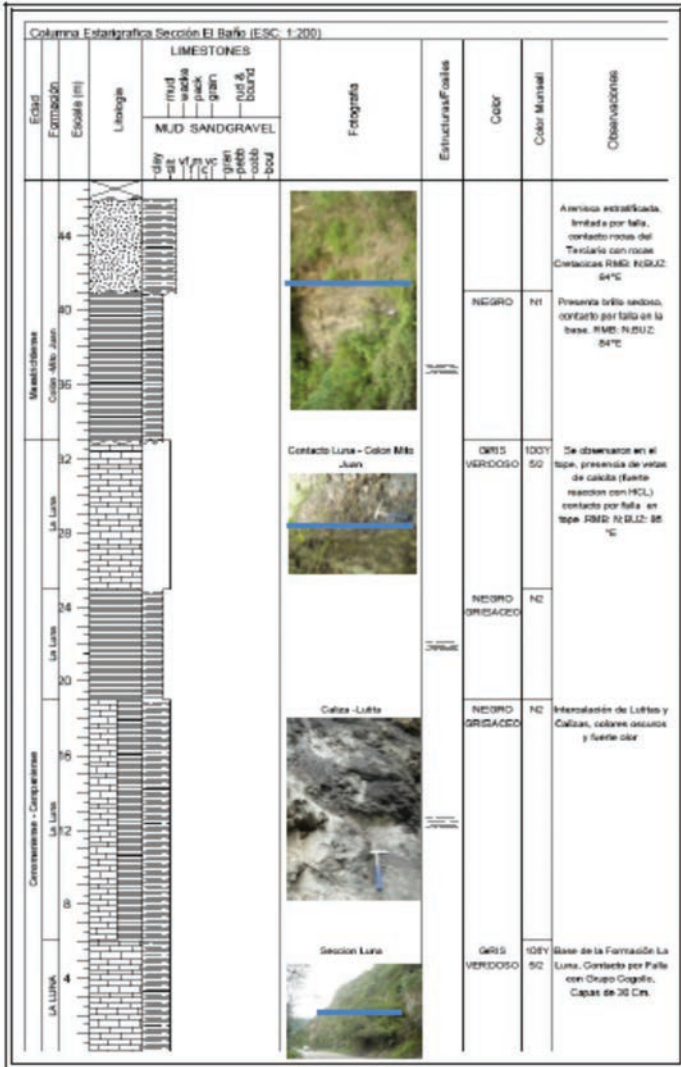


Figura 8.
Columna estratigráfica de la Sección El Baño

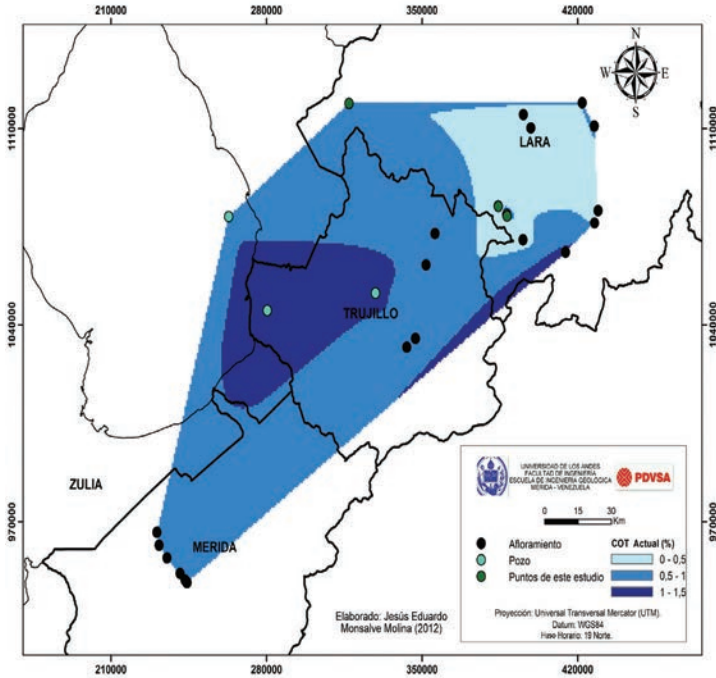


Coordenadas
 E 317082
 N 1118591
 Sección El Baño



Jesús Eduardo Monsalve

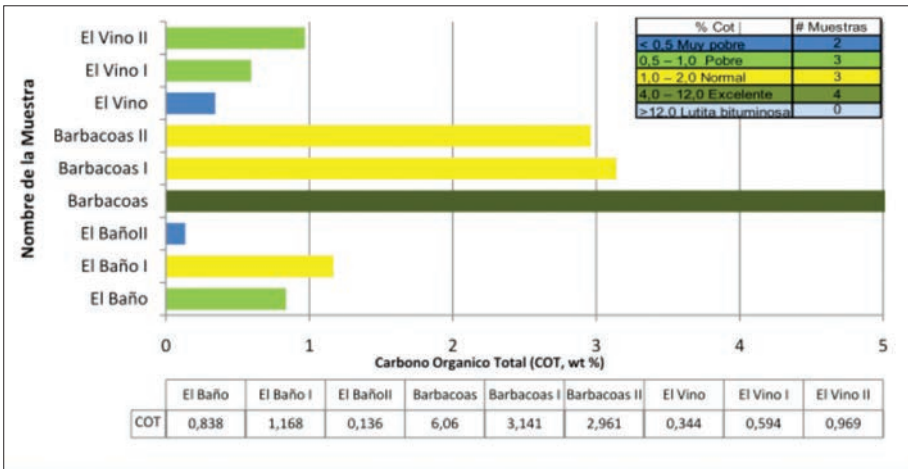
Figura 9.
Mapa regional variación % COT.
Puntos en verde las zonas de muestreo analizadas en esta investigación



Fuente: datos suministrados por PDVSA (2011)

Mérida y Trujillo, aunque, en general, el contenido de COT, es inferior al 2%, con esta información se elaboró un mapa de concentraciones de carbono orgánico total (figura 9). En el estudio geoquímico efectuado por Malavé se observa que en la zona de El Vino y El Baño, los valores de COT son menores de 1%, lo que permite clasificar las muestras entre Pobre y Muy Pobre (figura 10) y para la zona de Barbacoas, los resultados están por encima de 2,5%, con un valor máximo de 6,06 % lo que clasifica a la roca con un potencial COT de bueno a excelente.

Figura 10.
Contenido de COT en la roca efectuado por Malavé (1994)



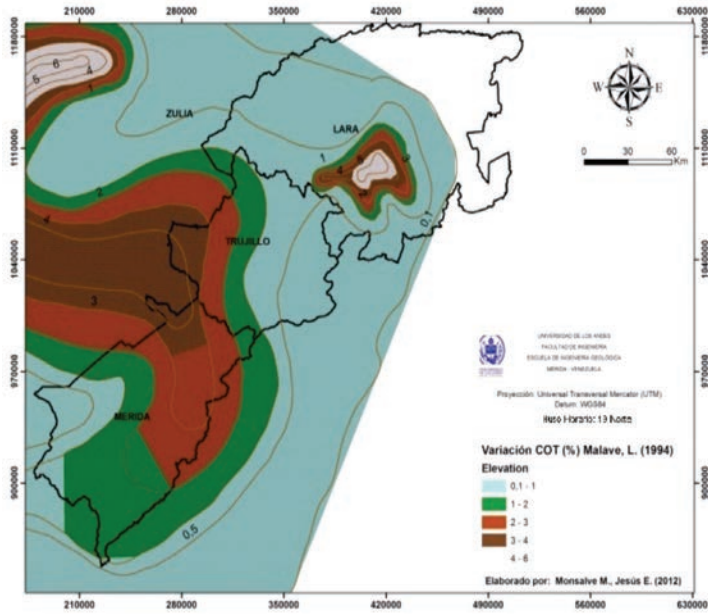
Fuente: Modificado de (Malavé, 1994)

Jesús Eduardo Monsalve

Por su parte, los resultados obtenidos en esta investigación, coinciden para las zonas El Vino-El Baño, clasificándose las muestras como Pobre y Muy Pobre; en cambio para la zona de Barbacoas el valor está por debajo de 0,2 % de COT; esto indica que la roca no cumple los porcentajes mínimos para ser consideradas como prospectiva. Probablemente, la explicación de la diferencia en Barbacoas, se deba a que no se realizaron los controles estructurales ni sedimentológicos, sobre las muestras, y lo que se denomina lutita carbonosa (Malavé, 1994), en realidad es harina de falla (*fault gouge*) (figuras 11 y 9).

Para determinar la calidad de la materia orgánica, se compararon los índices de hidrógeno (IH) y oxígeno (IO) que son inversamente proporcionales en el diagrama modificado de Van Krevelen; es decir, altos contenidos de hidrogeno y bajos de oxígeno, indican que la materia orgánica se ha preservado y genera querógenos tipo I y II, considerados los mejores para la producción de hidrocarburos. En el caso de este estudio, el IH es menor a 50 unidades (cuadro 1), lo que indica que la materia orgánica pertenece a un querógeno tipo IV inerte y degradado, con baja capacidad de generar hidrocarburos (figura 12).

Figura 11.
Mapa regional variación % COT efectuado por Malavé (1994)

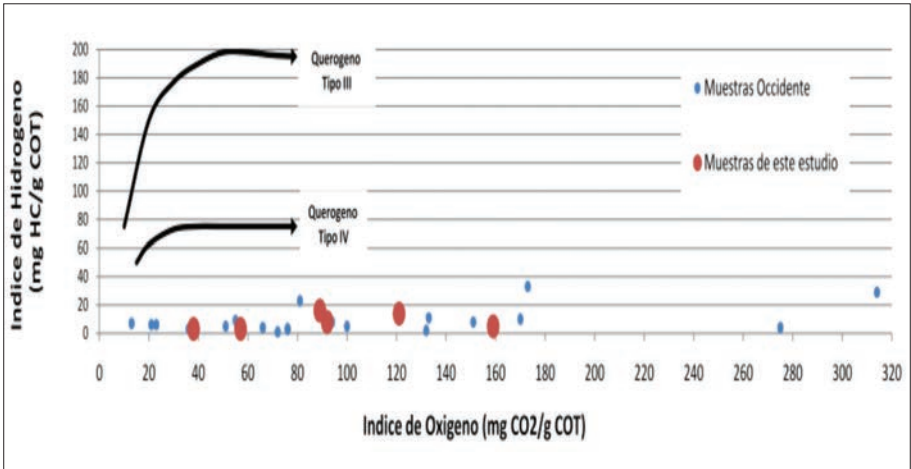


Fuente: Modificado de (Malavé, 1994)

Madurez Térmica

La madurez térmica (TMax), se relaciona con las temperaturas máximas a la que han estado sometidas las rocas y la materia orgánica que contienen. En prospección de hidrocarburos, se buscan rangos de madurez entre maduros y sobremaduros. Los valores obtenidos en la muestras de esta investigación (cuadro 1), señalan valores entre 486 y 510 °C, considerándose todas las muestras sobremaduras. Estos resultados reflejan condiciones favorables para la prospección de lutitas gasíferas, debido a que la roca está en la etapa sobremadura. La figura 13, representa el mapa de madurez térmica, que permite comprender la tendencia general del Tmax de la Formación Colón en los estados Mérida, Trujillo y Lara, se observan los rangos de madurez comprendidos entre sobremaduras e inmaduras, la mayor cantidad de muestras diecinueve s ubican en las zonas sobremaduras y ocho inmaduras.

Figura 12.
Diagrama de Van Krevelen Modificado (IH-IO)

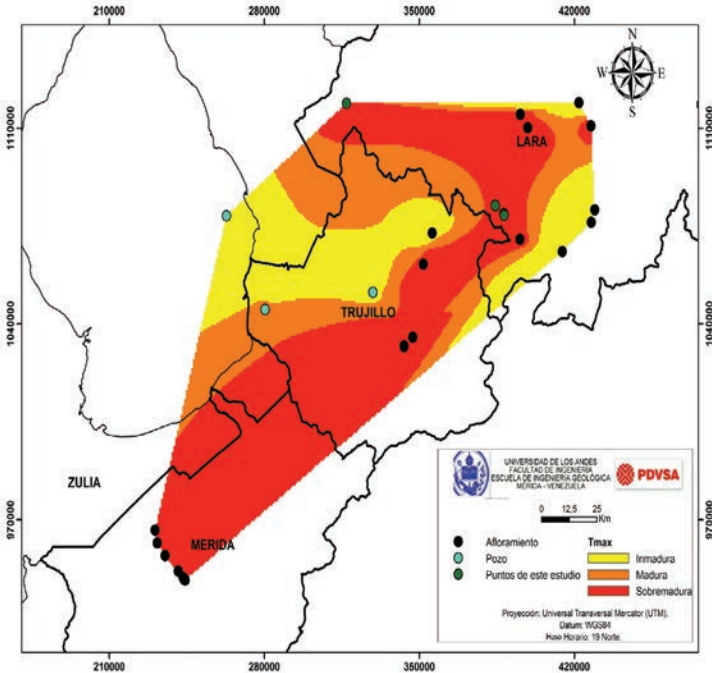


Los sitios rojos representan las muestras de esta investigación que corresponden a querogeno tipo IV

Al examinar los datos previos en el mapa regional de madurez térmica (Malave, 1994) y cotejando con los mapas regionales obtenidos en este estudio, se aprecian diferencias en cuanto a la distribución de madurez, Malavé obtuvo zonas inmaduras en los estados Lara y Mérida y sobremaduras en Trujillo, mientras que los resultados de este estudio, indican que las zonas de Lara, Trujillo y Mérida corresponden a zonas sobremaduras, e inmaduras en parte del estado Trujillo (figura 13 y 14).

Al analizar los mapas regionales, así como los valores del ensayo de pirólisis Rock Eval para los estados Lara, Trujillo y Mérida, se observa que las muestras recolectadas en el estado Lara, presentan los menores contenidos de Carbono Orgánico Total, Índice de Hidrógeno superior a los afloramientos en Trujillo y Mérida. El Tmax corresponde a rocas sobremaduras, en general la tendencia de la Formación Colón es homogénea, debido a que todas las muestras indican un querógeno tipo IV, con zonas de mayor madurez térmica en el área de Lara. De igual manera, al comparar con el estudio de *Litofacies y Distribución del Carbono Orgánico* (Malavé, 1994), se aprecian diferencias notables en los resultados, presumiblemente por ausencia de controles estructurales y sedimentológicos, en las muestras analizadas por la autora.

Figura 13.
Madurez de acuerdo a valores de Tmax

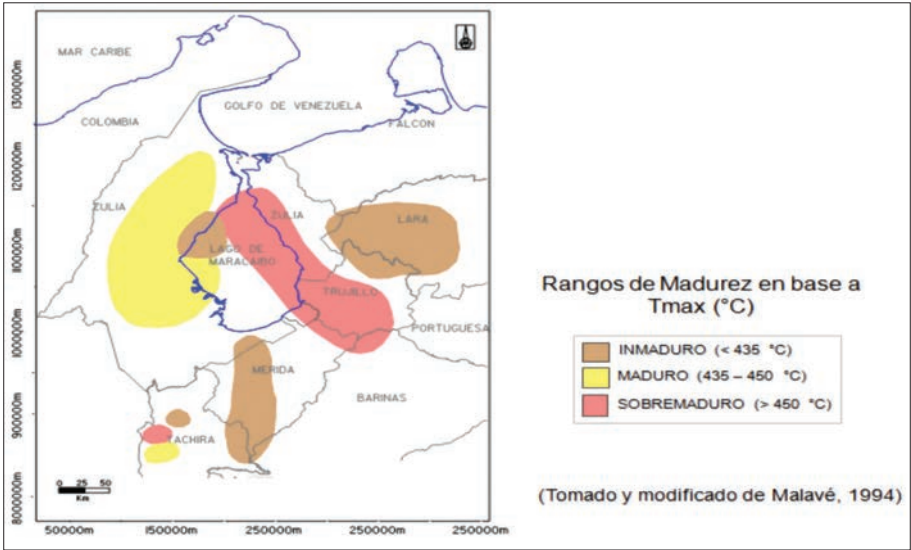


Puntos en verde representan las muestras de esta investigación. Fuente: Datos suministrados por PDVSA

Sedimentología

En el ensayo de difracción de rayos X se analizó la concentración de minerales presentes y el grado de diagénesis de la roca, aspectos de gran relevancia en la exploración de lutitas gasíferas en hipotéticos procesos de producción. Los datos generados se relacionaron con los suministrados por PDVSA se construyeron mapas regionales de minerales de arcilla y minerales frágiles. De las muestras analizadas, se aprecia que los elementos mayoritarios son cuarzo y minerales de arcillas, y en menor

Figura 14.
Distribución de madurez actual (Tmax), Formación Colón

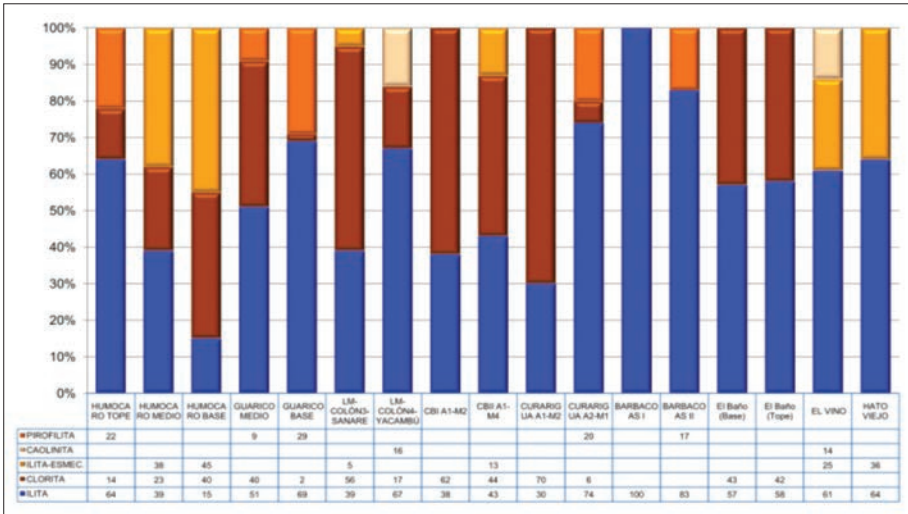


Jesús Eduardo Monsalve

Figura 15.
Mineralogía total de las muestras en el estado Lara



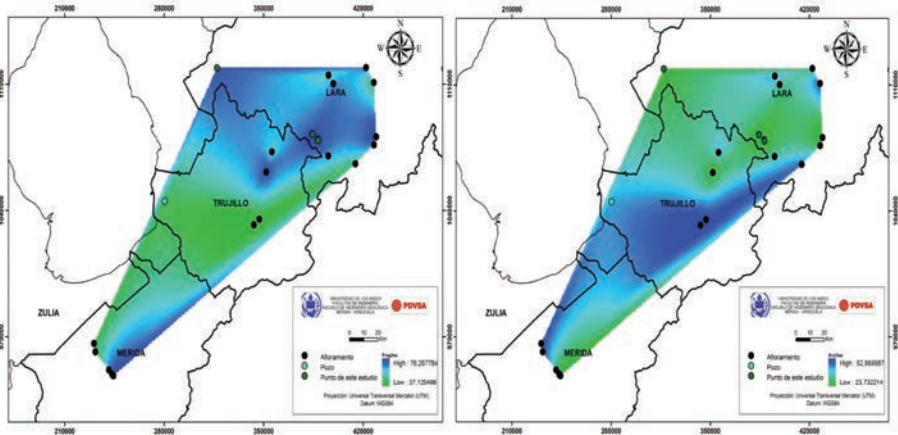
Figura 16.
Minerales de arcilla en el estado Lara



proporción calcita, feldespatos y plagioclasas, la figura 15 muestra la tendencia general del área. La presencia de plagioclasas y feldespatos hace presumir actividad tectónica en el área, debido a que estos minerales se alteran fácilmente y su preservación ocurre cuando hay tectonismo asociado a su depositación, este tectonismo puede estar ocasionado por la colisión del arco volcánico del Pacífico con la placa Sudamericana durante el Cretácico. En cuanto a los minerales de arcilla, a nivel regional se observa, el dominio de illita en todas las muestras, clorita en trece muestras, interestratificados illita - esmectita, están presentes en seis muestras (figura 16).

Los resultados obtenidos en difracción de rayos X, indican que las fracciones minerales presentes son favorables para el proceso de fracturamiento hidráulico en la Formación Colón. Comparando los resultados de esta investigación con la tendencia regional, se observa que las mayores concentraciones de minerales frágiles, se encuentran en el estado Lara, las arcillas tienen su menor concentración en esta zona (figura 17).

Figura 17.
Mapa regional de minerales frágiles y minerales de arcilla



Fuente: datos suministrados por PDVSA (2011)

Al relacionar los resultados de esta investigación con la clasificación de rocas planteada en el trabajo “*Geochemistry and mineralogy of cretaceous shale, Manitoba: preliminary results*” (Nicolas, M. y Bamburak, J. (2009), el cual establece rangos de equivalencia entre, el Tmax de la pirolisis Rock Eval y la temperatura de soterramiento a la que se ha sometido la roca. Al realizar la equivalencia, se puede determinar de manera aproximada el grado de diagénesis de las muestras estudiadas, habiéndose obtenido lo siguiente: en el estado Lara trece muestras sobremaduras, las cuales han estado sometidas a temperaturas de soterramiento superiores a 150 °C, que corresponden a diagénesis profunda, muy cercanas del límite con el metamorfismo de bajo grado, y cuatro muestras inmaduras, sometidas a temperaturas menores de 100 °C, que hacen presumir que están sometidas a una diagénesis media.

CONCLUSIONES

En esta investigación, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) sirvieron como herramienta complementaria en la verificación e interpretación de mapas geológicos preliminares, así como para la elaboración de mapas temáticos, donde se plasmaron los resultados finales. Los mapas geológicos elaborados, se convirtieron en la base fundamental para las actividades desarrolladas en campo, así como para los análisis estructurales y control de las muestras recolectadas.

La ausencia de datos y la información desactualizada de cartografía geológica, se compensó con la utilización de imágenes satelitales Spot 5 y Landsat 5, integradas con SIG., herramientas que permitieron la elaboración de los mapas, actualización de datos de las vías de acceso y análisis estructurales de la zona. Asimismo, la revisión preliminar de información, evidenció que las lutitas de la Formación Colón ubicadas, por encima del Miembro Arenoso Cujisal, son equivalentes en tiempo geológico a la Formación Mito Juan de la zona andina.

La elaboración y actualización del mapa geológico de la Sección el Baño a escala 1:25000, no permite la representación en detalle de la Formación Colón, debido a la poca extensión del afloramiento, así como la limitante de las cartas topográficas que no generan mayor detalle, se presenta el Granito del Baño (Jurásico), la secuencia cretácica y lutitas del Terciario. El mapa generado, para las secciones Hato Viejo-El Vino y Barbacoas, (1:25000), muestra lutitas de la Formación Colón, el Miembro Cujisal, y las Formaciones La Luna y Peñas Altas.

Por su parte, el mapa de Carbono Orgánico Total (COT), elaborado a través del SIG, permitió la comparación de los datos de esta investigación con los del trabajo de Malavé 1994), apreciándose notable diferencia en los resultados, lo cual se puede explicar debido a la ausencia de controles estructurales que pudieron alterar las muestras, en el caso de esta investigación sí se realizaron los controles estructurales y sedimentológicos.

El mapa de madurez térmica a nivel regional, señala áreas sobremaduras en la zona andina y plataforma de Barbacoas, las zonas inmaduras y maduras, se ubican hacia la costa oriental del Lago de Maracaibo y piedemonte andino. En los mapas de minerales frágiles y minerales de arcilla, construidos mediante SIG, señalan el dominio de las fracciones minerales frágiles y bajo contenido de arcillas expansivas, resultados plasmados a nivel regional

Agradecimientos

- A PDVSA, por su apoyo en el desarrollo de esta investigación.
- Al personal de los Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Geológica, de las bibliotecas de la ULA y UCV, y demás personas que colaboraron en la elaboración de este trabajo.
- Al Laboratorio de Procesamiento Avanzado de Imágenes Satelitales – LPAIS, por suministrar las imágenes satelitales SPOT 5 analizadas en este estudio.
- Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico, Tecnológico y de las Artes (CDCHTA) de la Universidad de Los Andes, por su apoyo institucional.
- A Maried por su ayuda en el levantamiento de datos Campo, a Lery, Blanca y Javier, compañeros del proyecto “Gas Shale”, ULA-PDVSA.
- A mi familia por su cariño, amor, comprensión y apoyo incondicional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARTOGRAFÍA NACIONAL (1955). *Mapa topográfico hojas: 6045 II SO, 6045 II NO, 6045 I SO, 6145 II NE, 6145 I SE, 6245 III SO, 6245 III NE*. Ministerio de Obras Públicas, Caracas-Venezuela.

GÓMEZ, N. (2010). *Gas natural no convencional “camino a la independencia energética”*. Asociación venezolana de procesadores de gas. Documento en línea. pp 1-8. Disponible en: www.revistamene.com/nuevo/docs [Consulta : 30 de septiembre 2011].

GONZÁLEZ, L. (2004). *Analyse structurale et évolution tectonique des Andes vénézuélienne nord orientales*. Tesis doctoral no publicada, Le Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA). Pau, France.

HABICHT, K. (1960). La Sección de El Baño, Serranía de Trujillo, Estado Lara. *III Congreso Geológico Venezolano*. pp 192-213. Caracas-Venezuela.

KUUSKRA, V., STEVENS, S., VANLEEUWEN, T., MOODHE, K. (2011). *World shale gasresources: an initial assessment of 14 regions outside the United State*. Advanced Resource International inc. Informe no publicado. USA

- LAMBERTINI, R. (1979). *Geología Regional del Área de El Baño Estado Lara*. Trabajo Especial de Grado no publicado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- LPAIS (2011). *Imágenes Spot 5, código: 5651-330,652- 330,652-331,653-330,653-331*. Fundación Instituto de Ingeniería Laboratorio de Procesamiento Avanzado de Imágenes Satelitales. Hoyo de la Puerta, Caracas –Venezuela.
- LUGO, J. y MANN, P. (1995). Jurassic–Eocene tectonic evolution of Maracaibo Basin, Venezuela. In: Tankard, A.J., Suárez Soruco, R., Welsink, H.J. (Eds.), *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists. Mem. 62, 699–725. USA.
- MALAVÉ, L. (1994). *Litofacies y Distribución del Carbono Orgánico y Fósforo en la Formación Colón, Cuenca de Maracaibo*. Trabajo especial de grado no publicado, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- MONSALVE, L. y PEÑA J. (2001). *Estudio sedimentológico y estratigráfico de la secuencia del cretáceo en el sector Barbacoas-San Pedro, Estado Lara*. Trabajo especial de grado no publicado, Universidad de Los Andes. Mérida.
- MUNSELL (1994). *Munsell soil color charts*. Editorial: New Windsor, New York
- NASA (1990). *Landsat 5 TM imagen p006r053_5dt .SLC-Off*. Landsat Program, Global Land Cover Facility - University of Maryland. Disponible en: <http://www.glcf.umd.edu/data/landsat/> [consulta: Enero, 2012]
- NICOLAS, M. y BAMBURAK, J. (2009). Geochemistry and mineralogy of cretaceous shale, Manitoba: preliminary results. *Manitoba Geological Survey*, p. 165-174. Canada.
- PARNAUD, F., GOU, Y., PASCUAL, J., CAPELLO, M. A., TRUSKOWSKI, I. y PASSALAUQUA, H. (1995). Stratigraphic synthesis of Western Venezuela. In: Tankard, A.J., Suárez Soruco, R., Welsink, H.J. (Eds.), *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists. Mem. 62, pp 681–698. USA.

PETRÓLEOS DE VENEZUELA S.A. (PDVSA) (2011). *Estudio de Formaciones Lutíticas como Reservorios de Gas Natural*. Gerencia de exploración y producción. Trabajo no publicado. Maracaibo: Autor.

Jesús Eduardo Monsalve. Ingeniero Geólogo egresado de la Universidad de Los Andes. Actualmente Ingeniero II en el Instituto Municipal de Gestión de Riesgos y Administración de Desastres (IMGRAD)- Alcaldía Municipio Bolivariano Libertador, Distrito Capital. Su interés se centra en la gestión de riesgos, análisis estructurales, sedimentológicos, geomorfología aplicaciones SIG en geología.

Correo electrónico: Jemm1120@gmail.com.