



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
PETROLERA Y DE G.N. – EXPLORACIÓN

ESTUDIO DIAGENÉTICO DE LOS ESTRATOS DEL MIOCENO SUPERIOR EN EL
SUBSUELO DEL CAMPO PETROLERO PAPAN CUENCA TERCIARIA DE VERACRUZ, SE
DE MÉXICO

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
DACIA OBISPO GONZÁLEZ

TUTOR PRINCIPAL
JOAQUÍN EDUARDO, AGUAYO, CAMARGO, FACULTAD DE INGENIERIA

MÉXICO, D. F. 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Padilla Y Sánchez Ricardo José

Secretario: Dr. Cárdenas Soto Martín

Vocal: Dr. Aguayo Camargo Joaquín Eduardo

1 er. Suplente: M.C. Campos Madrigal Emiliano

2 d o. Suplente: M.I Herrera Palomo Alberto

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Universidad Nacional Autónoma de México

TUTOR DE TESIS:

Dr. Aguayo Camargo Joaquín Eduardo

FIRMA

Dedicado a mis pequeños hijos Santiago y Leonardo que me impulsan a mejorar cada día. A ti Wilberto por tu dedicación para con nosotros.

A mis padres Marta y Rafael por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo a través del tiempo. A mis hermanas Elisa y Edna por su amor y cariño.

“Existe al menos un rincón del universo que con toda seguridad puedes mejorar, y eres tú mismo.”
Aldous Huxley

AGRADECIMIENTOS

Definitivamente este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas personas que me brindaron su ayuda; siempre resultará difícil agradecer a todos aquellos que de una u otra manera me han acompañado en mi desarrollo profesional. Por tanto, quiero agradecerles a todos ellos cuanto han hecho por mí, para que este trabajo saliera adelante de la mejor manera posible.

*Agradezco el apoyo que **Pemex Exploración y Producción** me brindo para poder realizar los estudios de posgrado, en mi Alma Máter (**UNAM**). Al Ing. José A. Escalera Alcocer, por facilitar este proyecto.*

Agradezco a mis profesores, a mi tutor el Dr. Aguayo por su valiosa colaboración en la realización de este trabajo, a mis sinodales Dr. Padilla, Dr. Cárdenas, M.C. Campos y M.I Palomo por su tiempo dedicado y sus valiosos comentarios.

*Agradezco a la **Facultad de Ingeniería** por la oportunidad de estar en sus aulas tomando clases para mi formación académica.*

Agradezco a mis compañeros de generación por la amistad recibida y su valioso tiempo brindado en los momentos más duros en el estudio.

CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. GENERALIDADES | 3 |
| 2.1.-Localización del área de estudio | 3 |
| 2.2.-Antecedentes | 4 |
| 2.3.-Objetivo | 6 |
| 2.4.-Información disponible | 7 |
| 3. MARCO ESTRATIGRÁFICO | 10 |
| 3.1.-Estratigrafía | 11 |
| 3.2.- Límites de Secuencia | 15 |
| 3.3.- Características petrográficas de la secuencia LS_MS_6.98 | 18 |
| 3.4.- Procedencia | 20 |
| 4.-MARCO TECTÓNICO | 25 |
| 4.1.-Tectónico-Estructural | 25 |
| 4.2.- Marco estructural | 27 |
| 5.- PETROGRAFÍA Y DIAGÉNESIS | 31 |
| 5.1.- Metodología | 31 |
| 5.2.-Atributos texturales | 32 |
| 5.2.1.-Tamaño | 33 |
| 5.2.2.-Selección | 34 |
| 5.2.3.-Forma y esfericidad | 35 |
| 5.2.4.-Empaque | 35 |
| 5.2.5.-Madurez | 36 |
| 5.3.-Porosidad | 37 |
| 5.3.1.-Porosidad Primaria | 37 |
| 5.3.2.-Porosidad Secundaria | 38 |

| | |
|---|-----------|
| 5.4.-Clasificación y registros geofísicos | 38 |
| 5.5.- Diagénesis | 41 |
| 5.5.1 Ciclo diagenético | 41 |
| 5.5.2 Ambientes diagenéticos | 42 |
| 5.5.3 Procesos diagenéticos | 45 |
| 5.6.- Análisis de núcleos | 47 |
| 5.7.- Secuencia paragenética | 68 |
| 6.- SISTEMA PETROLERO | 69 |
| 6.1.-Geoquímica | 70 |
| 6.2.-Roca Generadora | 70 |
| 6.3.-Roca Almacén y Sello | 71 |
| 6.4.-Generacion y Migración | 72 |
| 7.-CONCLUSIONES | 73 |
| 8.- ANEXOS | 74 |
| 9.- BIBLIOGRAFÍA | 75 |

1.- INTRODUCCIÓN

El presente estudio con el nombre "Análisis diagenético del Campo Papan, del Mioceno Superior", es parte de un proyecto integral realizado para PEMEX, el cual consiste en la Caracterización del Campo Papan del Mioceno Superior, Cuenca Terciaria de Veracruz, México. Está encaminado al estudio petrográfico-diagenético de la roca almacén; la porosidad primaria es básica en las arenas pero si se cuenta con eventos diagenéticos a favor podrían aumentar la porosidad, haciéndola una excelente roca almacén.

La cuenca Terciaria de Veracruz es importante productora de hidrocarburos de edad terciario, el campo Papan pertenece a esta cuenca y es productor de gas en rocas del Mioceno dentro del límite de la secuencia LS_MS_06_98, la roca productora son litarenitas de ambiente sedimentario de facies Bouma. Este campo colinda, hacia el norte con el campo Apertura, hacia el este con el campo Cocuite, estos también son productores en rocas terrígenas de composición mineralógica, arenita lítica, los líticos estudiados son de origen volcánico.

En el estudio petrográfico se analizaron los parámetros texturales de las muestras líticas, como son: distribución de tamaños de los silicicláastos, redondez, composición mineralógica, porcentaje de las fases presentes y la expresión en los registros de Potencial Espontáneo (SP) y Rayos Gamma. En este estudio petrográfico y diagenético se analizaron los eventos de procedencia y generación de porosidad, los cuales caracterizan a las rocas. El relieve y las condiciones climáticas controlan el intemperismo y el grado de transporte, además los procesos post-sedimentarios (diagénesis), pueden generar diferentes texturas y alterar la composición de los sedimentos, aunque su roca fuente sea la misma, lo que hace indispensable reconocer estos procesos, para tener un panorama razonable para la interpretación de la historia del depósito.

La composición de las rocas sedimentarias terrígenas depende de cuatro factores: fuente de aporte del sedimento, del transporte, del ambiente de depósito y de la diagénesis. Para ello se analizaron las láminas delgadas de muestras de núcleos

existentes, por medio del microscopio binocular petrográfico con luz natural y nicoles cruzados, con ampliaciones 3X, 10X y 20X; para determinar sus características petrográficas como son: mineralógicas, composicionales, esfericidad y redondez. También se consultaron informaciones existentes de estudios de núcleos como son Scanning Electron Microscope (SEM) y Difracción de rayos X (RX).

2.- GENERALIDADES

2.1 Localización del área de estudio

El campo Papan se localiza al suroeste de la ciudad de Veracruz y al noroeste de la ciudad de Cosamaloapan, dentro del estado de Veracruz, en la porción Centro-Occidental del elemento geológico denominado Cuenca Terciaria de Veracruz, como se muestra en la Figura 1.

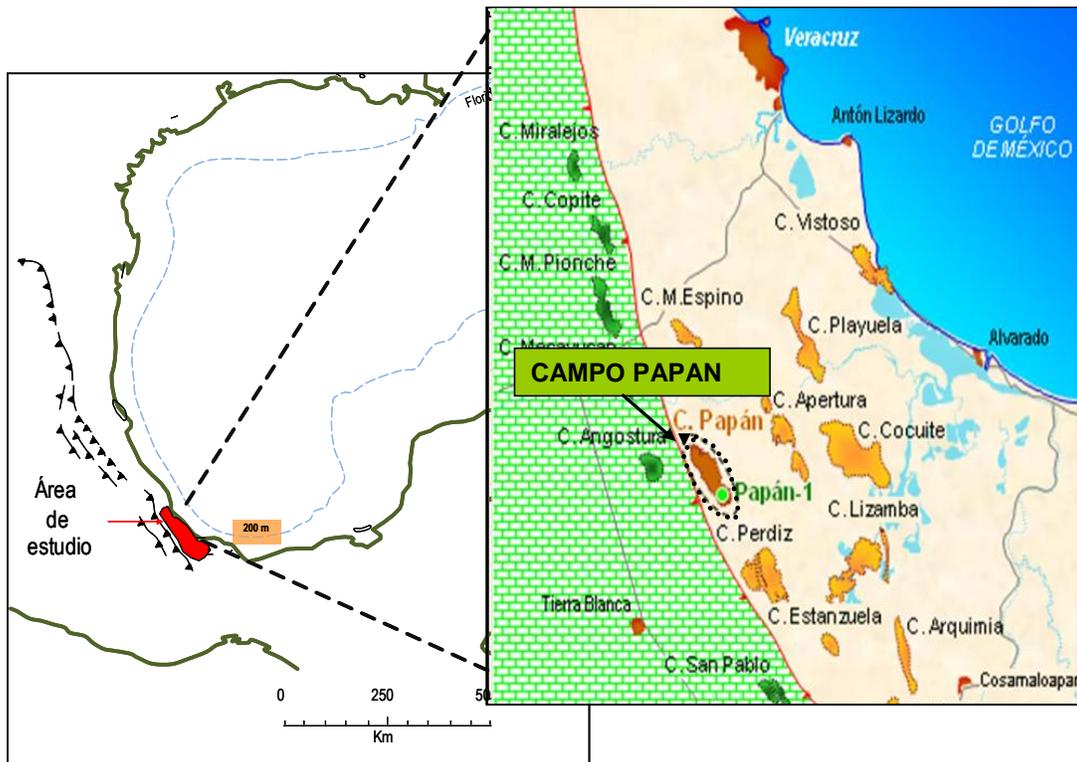


Figura 1.- Mapa de ubicación de la zona de estudio.

La Cuenca Terciaria de Veracruz con un área aproximada de 30,000 km² tiene como límites, al norte el alto de Santa Ana; al oeste y suroeste la Sierra Madre Oriental; al sur la Sierra de Chiapas y el complejo metamórfico Sierra de Juárez; al sureste la cuenca Salina del Istmo y al oriente, el Alto de Anegana y el centro volcánico de los Tuxtlas (Figura 2).



Figura 2.- Mapa de ubicación de la Cuenca de Veracruz.

2.2 Antecedentes

Descripción histórica del campo

El campo se descubrió en mayo del 2005 con la perforación del pozo exploratorio vertical Papan-1, el cual se estableció como productor de gas seco mediante una prueba de producción realizada en el intervalo de 1692 a 1701 metros, correspondiente al Mioceno Superior, dando un gasto de 4.67 mmpcd.

La principal característica sísmica que presenta este campo es una anomalía de amplitud asociada a la presencia de gas, la cual ha servido para establecer el área de reserva probada. Sin embargo, es importante mencionar que en la superficie del campo se localiza el poblado llamado Joachin, que afectó operativamente la adquisición de los datos sísmicos disponibles, ocasionando que no se tuviera un volumen de datos sísmicos homogéneo y como consecuencia, generando la

incertidumbre de la validez de dicha anomalía en relación a la extensión del campo.

Por lo anterior, la continuidad del campo se comprobó cuando se perforó el pozo Papan-92, el cual se localiza dentro del área de baja amplitud sísmica y finalmente, se pudo tener la certeza de la máxima extensión del campo cuando se corroboraron con los datos que se obtuvieron con la perforación del pozo exploratorio Huace-1 (Figura 3).

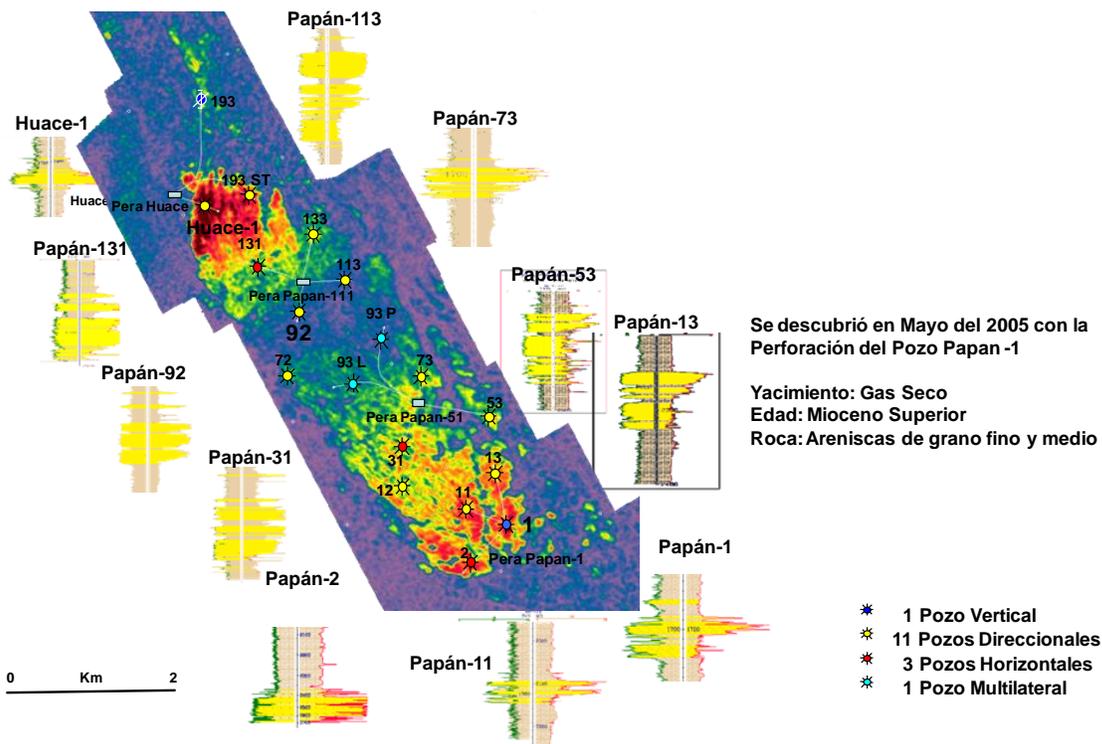


Figura 3.- Extensión de la anomalía de amplitud del campo Papan con la distribución de los pozos perforados.

Las características principales del campo son las siguientes:

| | |
|---------------------------|---------------------------------|
| Yacimiento: | Gas Seco |
| Edad: | Mioceno Superior |
| Roca: | Areniscas de grano fino y medio |
| Reserva al año 2008 mmpc: | 242.1 |

| | |
|-----------------------|------------------------|
| Pozos Perforados: | 18 |
| Pozos Productores: | 16 |
| Pozos en perforación: | 2 |
| Producción acumulada: | 7962 mmpcd (mayo 2007) |

Situación del campo Papan-Huace

El campo Papan-Huace inició su explotación en Junio/2007 con la puesta a producción de los pozos Papan-12, Papan-31, Papan-53, Papan-73, Papan-93; cabe mencionar que estos pozos salen de la macropera Papan-51. La producción acumulada es de 7.9 MMMPC al 31 de Agosto/2007.

2.3 Objetivos

- Objetivo general

El objetivo del estudio en la secuencia estratigráfica del Mioceno Superior, es determinar los procesos paragenéticos que impactan en la generación de su porosidad y permeabilidad.

- Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo en las secuencias estratigráficas miocénicas son:

- Analizar las propiedades texturales, de empaquetamiento y composición mineralógica de las areniscas.
- Definir los procesos diagenéticos que impactan en la paragénesis a la petrofísica de los atributos de porosidad y permeabilidad.

2.4 Información Disponible

Sísmica 3D

La información sísmica que se tiene en el área, corresponde al levantamiento Zafiro-Perdiz 3D, adquirido por la compañía WesternGeco durante el año 2002 y se ubica geográficamente en la planicie costera del Golfo de México, en la porción central del estado de Veracruz, comprendiendo parte de los municipios de Tlalixcoyan, Ignacio de la Llave, Acula, Ixmattlahuacan, Cosamaloapan, Tierra Blanca y Tres Valles.

Posteriormente, en el 2004 y por necesidades del Activo, se unió dicho levantamiento a otros cinco levantamientos sísmicos tridimensionales generando el Megacubo Veracruz 3D hasta el proceso de migración en tiempo, antes de apilar.

El volumen sísmico es el apilado con migración en tiempo, antes de apilar (PSTM) sin filtros ni ganancia, procesado por la compañía Western Geco (llamado también Megacubo_MGSFSG); que se le denominará como el procesado original y es el que se ha trabajado desde el descubrimiento hasta el desarrollo del campo. Por otro lado, es importante mencionar que la información sísmica obtenida de los VSP desviados, proporciona un área donde es posible comparar la resolución obtenida contra la existente en la sísmica de superficie, a fin de ajustar la resolución existente.

Información sísmica tipo (Mega Cubo Veracruz 3D, PSTM).

La Figura 4 muestra la sección sísmica entre los pozos Huace-1 y Papa-1, se puede observar que entre los dos pozos no hay una buena respuesta a la sísmica, debido a que en el poblado Joachin no se hizo el levantamiento sísmico. La Figura 5 muestra una sección sísmica entre los pozos Huace-1 y Papan (92, 93L, 31, 11 y 2), se puede observar que todos ellos cortan la misma profundidad de la anomalía.

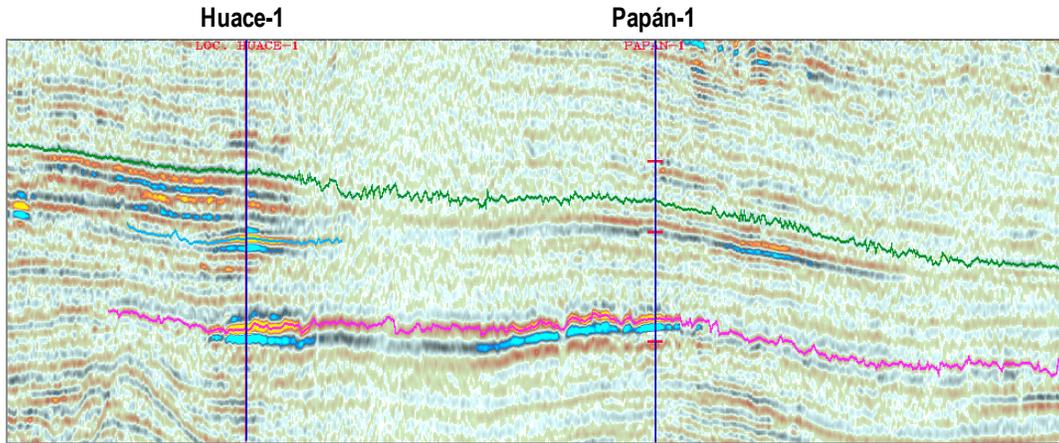


Figura 4.- Se muestra la sección sísmica entre los pozos Huace-1 y Papán-1.

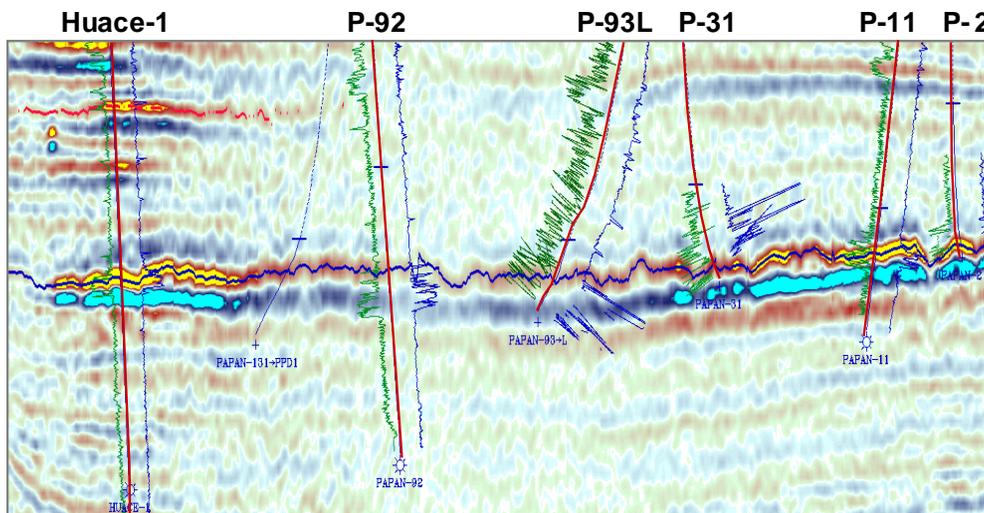


Figura 5.- Se muestra la sección sísmica entre los pozos Huace-1 y Papan (92, 93L, 31, 11, 2).

Información de registros y evaluaciones petrofísicas

De la adquisición de registros convencionales de campo y evaluación petrofísica respectiva se consulto la siguiente información, ver Tabla-1.

| Well Name | Registros de Campo Basicos | | | Prueba de Formación | Evaluación Petrofísica. | | | | | | Observaciones |
|-------------|----------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------|-------------------------|----|----|---|-----------|-------|---|
| | Resistivos | Radioactivos | Sonico | | MDT | Øe | Sw | K | Volumenes | | |
| | | | | BVW | | | | | VCL | VSILT | |
| PAPAN-1 | AIT | CNL, LDT | DSI / BHC | NO | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |
| PAPAN-11 | AIT | CNL, LDT | DSI/BHC | SI | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | Cargar curvas registro DSI |
| PAPAN-113 | AIT | CNL, FDC | BHC | NO | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |
| PAPAN-12 | AIT | CNL, LDT | BHC | NO | ⊗ | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | Cargar curva PEF |
| PAPAN-13 | AIT | CNL, FDC | DSI | SI | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | Cargar curvas registro DSI |
| PAPAN-131 | AIT | CNL, FDC | ● | NO | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | Buscar Sonico Hacer ascci de evaluación nuevamente |
| PAPAN-131R1 | AIT | CNL, FDC | ● | NO | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | No hay Registros de campo |
| PAPAN-132 | | | Inició Perforación 20 Julio 2007 | | | | | | | | Pozo en terminación (incompleto) |
| PAPAN-133 | AIT | CNL, FDC | ● | NO | ● | ● | ● | ● | ● | ● | No tiene evaluación Petrofísica |
| PAPAN-193 | AIT | CNL, FDC | ● | NO | ● | ● | ● | ● | ● | ● | Pozo Invasado de Agua |
| PAPAN-193R1 | AIT | CNL, FDC | ● | NO | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | Falta Sonico Checar base datos |
| PAPAN-2 | AIT | CNL, FDC | ● | NO | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | Buscar Sonico |
| PAPAN-31 | AIT | CNL, FDC | ● | NO | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | Buscar en IP Curva de SW |
| PAPAN-53 | AIT | CNL, FDC | ● | NO | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |
| PAPAN-72 | AIT | CNL, FDC | DSI | NO | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |
| PAPAN-73 | AIT | CNL, FDC | DSI | SI | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |
| PAPAN-92 | AIT | CNL, LDT | DSI | SI | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |
| PAPAN-93 | AIT | CNL, FDC | DSI | NO | ● | ● | ● | ● | ● | ● | Revisar Proyecto IP para obtener curvas |
| PAPAN-93L1 | AIT | CNL, FDC | | NO | ⊗ | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | Checar que la información correspon corresponda a este pozo |
| PAPAN-192 | | | Inició Perforación 18 Junio 2007 | | | | | | | | |
| HUACE-1 | AIT | CNL, FDC | ● | SI | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |

FDC : Compensate Formation Density Øe : Porosidad efectiva BVW : Volmen total de agua
LDT : Litodensidad Sw : Saturación de agua VCL : Volument e arcilla
CNL : Neutroón Compensado K : Permeabilidad VSILT : Volumen de limo
DSI : Sonico Dipolar ⊗ : si tiene información
BHC : Sonico Compensado. ● : no tiene información
AIT : Registro de Arreglo inductivo

Tabla 1.- Resumen de registros de campo y evaluaciones petrofísicas, de los pozos del campo Papan-Huace.

Información Geológica (Datos de núcleos)

Para el estudio del campo Papan se conto con 12 núcleos convencionales, con un total de 82 secciones pulidas, de los pozos Huace-1 , Papan-1, Papan-11, Papan-13, Papan-73, Papan-92 y Papan-113 ver Tabla 2.

| Pozo | Núcleo | Profundidad | Láminas |
|-----------|--------|--------------|---------|
| HUACE-1 | N2 | 1912-1921 | 11 |
| PAPAN-1 | N1 | 1689-1697.42 | 10 |
| PAPAN-11 | N1 | 2122-2139 | 9 |
| PAPAN-13 | N1 | 2275-2284 | 9 |
| PAPAN-73 | N1 | 1869-1878 | 4 |
| | N2 | 1878-1881.4 | 3 |
| | N3 | 1882-1891 | 7 |
| | N4 | 1891-1900 | 3 |
| PAPAN-92 | N1 | 1907-1925 | 10 |
| | N2 | 1925-1943 | 8 |
| | N3 | 1943-1961 | 2 |
| PAPAN-113 | N1 | 2163-2172 | 6 |

Tabla 2.- Relación de núcleos del campo Papan-Huace.

3.- MARCO ESTRATIGRÁFICO

En la Cuenca de Veracruz se tienen dos grandes Provincias Geológicas bien definidas, Plataforma de Córdoba al Occidente y Cuenca Terciaria al Oriente (Figura 6), limitadas por una gran falla transformante en sentido NW-SE, que corresponde a la terminación oriental de un cinturón plegado de corrimientos que vergen al noreste, de edad laramídica; el cual forma parte del margen sur completamente deformado de la Placa de Norte América. Se describirán brevemente las formaciones correspondientes a la Plataforma de Córdoba, de edad cretácica y se hará más énfasis en las Secuencias de la Cuenca Terciaria de Veracruz, por ser en esta provincia donde se encuentra el Campo Papan.

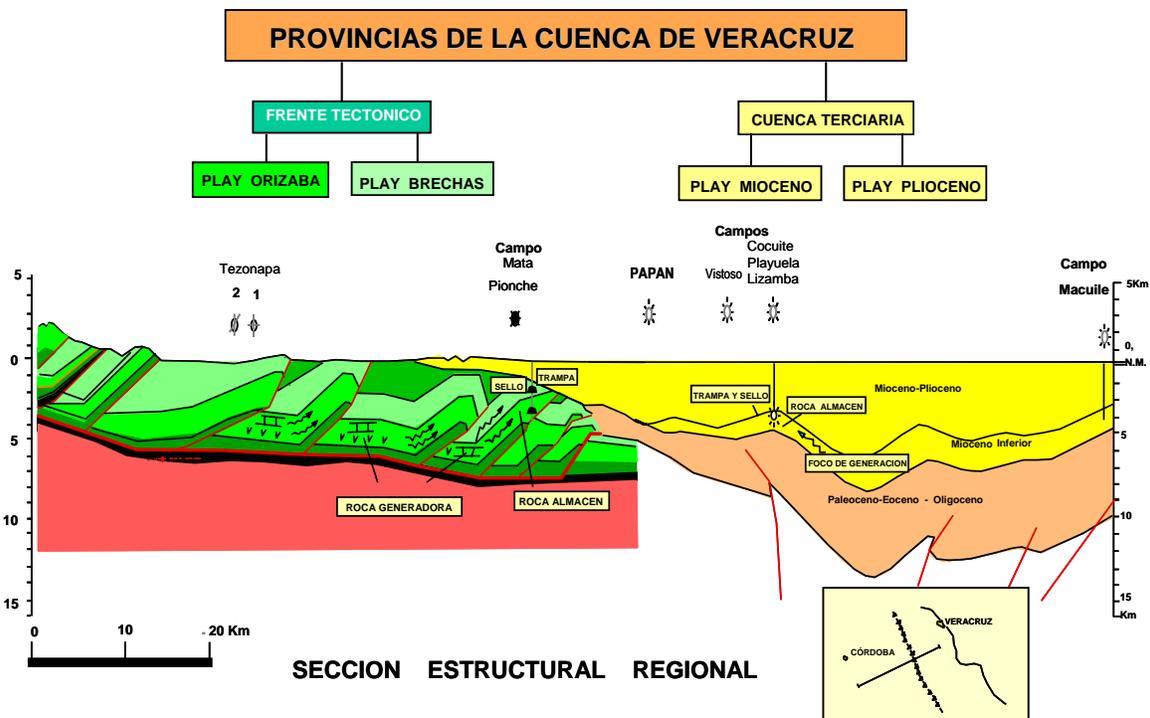


Figura 6.- Provincias de la Cuenca de Veracruz, Campo Papan en la Cuenca Terciaria.

3.1 Estratigrafía

Sistema Cretácico:

Formación Orizaba

A la Formación Orizaba se le ha asignado una edad Albiano Cenomaniano por datos paleontológicos, tiene una amplia distribución y se han identificado 12 facies de plataforma: planicie de mareas con dolomías en la base; planicie de mareas con transición calizas-dolomías; planicie de mareas con calizas; laguna somera; bancos de arenas calcáreas; zona de inundación; arrecife de rudistas variando lateralmente a flancos arrecifales y laguna somera e incluso a condiciones de perimarea hacia la cima.

Formación Maltrata

La Formación Maltrata subyace a la Formación Guzmantla Inferior. La edad que se le ha asignado es del Turoniano. Esta formación se distribuye en el área desde el oriente siguiendo una línea NW-SE que pasa por los campos Lagarto, Tres Higueras, Resplandor y Gloria y se presume que se extiende hacia el oriente desconociendo su límite ya que se encuentra muy profunda.

Litológicamente esta compuesta por mudstone y wackestone arcillosos de foraminíferos planctónicos. Ambiente de cuenca con alto contenido de materia orgánica. Esta unidad litoestratigráfica representa una superficie de máxima inundación regional que ahoga a la plataforma representada por la Formación Orizaba al cambiar de condiciones oxigenadas a anóxicas.

Formación Guzmantla Inferior

Esta formación subyace de manera concordante a la Formación Guzmantla Superior y discordante a las "Brechas" San Felipe. La edad que se le asigna en el área es del Coniaciano. Tiene una amplia distribución tanto en subsuelo como en la superficie. En subsuelo presenta al menos dos miembros: Uno somero que descansa directamente sobre la Formación Maltrata y le sobreyace un miembro profundo con facies pelágicas.

Formación Guzmantla Superior

Esta unidad litoestratigráfica subyace a la Formación San Felipe y por erosión, se depositaron flujos de escombros, para dar origen a las “Brechas” San Felipe. Su distribución es regional, tanto en el subsuelo como en superficie. La edad asignada por posición estratigráfica es del Santoniano.

La litología de esta formación es variable: packstone – grainstone de ooides (granos envueltos, oolitas y oncolitos) con fragmentos de moluscos, peloides e intraclastos en las facies de bancos de arenas calcáreas. grainstone, rudstones y framestone formados por fragmentos de rudistas, moluscos, corales y algas en las facies arrecifales, las cuales se presentan como parches aislados y dispersos. Esta secuencia de plataforma presenta evidencia de karsticidad, tales como vugs y fracturas rellenas con limo calcítico vadoso, los cuales tienen su mejor desarrollo hacia el borde de la plataforma.

Brechas San Felipe

Esta unidad aún cuando tiene todas las características para ser denominada como “Formación” no se le ha asignado de manera formal. Las “Brechas” San Felipe se distribuyen de manera regional y concordante. Sobreyacen a la Formación Guzmantla Inferior y localmente por discordancia, sobreyacen a las formaciones Maltrata y Guzmantla Superior. Subyace a la Formación San Felipe. Originalmente esta unidad fue considerada como un miembro de la Formación San Felipe, por lo cual se podría considerar concordante con la misma. La edad asignada por posición estratigráfica es del Santoniano Superior – Campaniano Inferior.

Aunque se le ha asignado el nombre informal “Brechas”, en realidad consiste de conglomerados y brechas donde los clastos son fragmentos de rocas calcáreas. Las texturas de los fragmentos son rudstone, packstone – grainstone de ooides con algas y fragmentos de moluscos, wackestone de foraminíferos bentónicos y fragmentos de rocas pelágicas. La distribución que presenta esta unidad es a lo largo de una franja con orientación NW-SE, siguiendo el borde la plataforma de la Formación Guzmantla Superior. El ambiente de depósito corresponde a un talud y pie de talud.

Formación San Felipe

Esta unidad le sobreyace concordante a las “Brechas” San Felipe en el centro del área estudiada y discordante a la Formación Guzmantla Superior al occidente. Al oriente, a lo largo de una franja NW-SE esta unidad descansa discordantemente sobre la Formación Guzmantla Inferior. Con esta unidad inicia el aporte de terrígenos a la cuenca. La edad que se le ha asignado con base en paleontología es del Campaniano.

Los espesores de esta formación son variables; se caracterizan por ser el relleno de la paleotopografía remanente de la plataforma en tiempos del Santoniano; por lo cual, se adelgaza hacia las partes altas y engrosa notablemente hacia las depresiones.

La litología reportada consiste de mudstone y wackestone-packstone de foraminíferos planctónicos, con aporte variable de arcilla. Su ambiente de depósito corresponde a cuenca.

Formación Méndez

Esta unidad sobreyace concordante a la Formación San Felipe y su distribución es regional. Muestra dos variaciones generales de facies, en subsuelo se presentan facies de cuenca representadas por depósitos turbidíticos que varían desde lutitas y margas hasta conglomerados y brechas. En el occidente de la región, en la parte aflorante de la plataforma de Córdoba se desarrollan facies de plataforma representada por la Formación Atoyac. La edad asignada por paleontología es del Maastrichtiano.

Sistema Terciario:

Para la Cuenca Terciaria de Veracruz, y con base en análisis de paleontología, registros geofísicos, sísmica y aplicación de estratigrafía de secuencias, se han definido 8 límites de secuencia (LS) desde el Mioceno Inferior-Oligoceno hasta el Plioceno, también se han establecido 4 superficies de máxima inundación (MSI) caracterizadas por depósitos arcillosos de piso de cuenca. El Campo Papan, objeto de estudio, pertenece al Límite de Secuencia del Mioceno Superior 6.98 millones de años

(LS_MS_06.98), como se necesitan considerar espesores de roca para sus descripciones, se estableció previamente cada límite de secuencia con el nemónico de edad que le corresponde, denominándose como Unidad; el Campo Papan se encuentra dentro de la Unidad MS-6.9, (Figura 7), este sistema depositacional está compuesto por abanicos de piso de cuenca y canales meándricos.

| EDAD | LIMITE DE LA SEC. DEPOSITACIONAL | NOMBRE DE LA UNIDAD | SISTEMA DE DEPOSITO | UNIDAD PRODUCTORA |
|------------------|----------------------------------|---------------------|--|-------------------|
| RECIENTE | | | | |
| PLIOCENO | LS_PI_04_20 | PI-R-4 | SECUENCIA PROGRAMANTE | |
| | MSI_PI_05_00 | PI-5 | | |
| | LS_MS_05_73 | MS-PI-5.7 | | |
| MIOCENO SUPERIOR | MSI_MS_06_00 | MS-6 | ABAN. DE CUENCA | PAPAN |
| | LS_MS_06_98 | MS-6.9 | | |
| | MSI_MS_07_08 | MS-7 | | |
| | LS_MS_09_26 | MS-9 | | |
| | MSI_MM_11_20 | MS-11.2 | | |
| MIOCENO MEDIO | LS_MM_11_70 | MM-11.7 | DESARROLLO DE CAÑONES | |
| | LS_MI_16_38 | MM-16 | | |
| MIOCENO INFERIOR | LS_MI_17_34 | MI-17 | | |
| | LS_OL_24_36 | MI-24 | | |
| OLIGOCENO | | | | |
| EOCENO | | | | |
| | | | CANALES MEANDRICOS | |
| | | | PISO DE CUENCA | |
| | | | CANALES MEANDRICOS Y ABANICOS DE PISO DE CUENCA | |
| | | | PISO DE CUENCA | |
| | | | ABANICOS PISO DE CUENCA CON APORTE MULTIPLE | |
| | | | PISO DE CUENCA | |
| | | | ABANICOS DE PISO DE CUENCA REGIONALES. APORTE MULTIPLE | |
| | | | ULTIMA ETAPA DE RELLENO DE CAÑONES | |
| | | | ABANICOS DE PIE DE TALUD ABASTECIDOS POR CAÑONES Y FLUJOS DE ESCOMBROS | |
| | | | TALUD - PIE TALUD, FRACTURAS | |

Figura 7.-Marco estratigráfico de la Cuenca Terciaria de Veracruz.

En esta cuenca se han identificado una serie de paleodrenajes submarinos con dirección W-E, NW-SE y probablemente SW-NE; se interpreta con base en los mapas de facies, que las fuentes de aportes se localizaban de NW y SE en el Mioceno Inferior-Oligoceno–Eoceno, mientras que, para la sedimentación más joven (Mioceno Superior-Plioceno) provenían del NW, debido a que esta parte se encontraba levantada para esta edad; la cuenca sufrió el efecto de varias transgresiones y regresiones; éstas con sus respectivas caídas relativas del nivel del mar, así como una subsidencia continua originaron varios sistemas

depositacionales: complejos de canales y niveles naturales, abanicos de talud y piso de cuenca.

La descripción e interpretación de las facies y ambientes depositacionales fueron determinadas a través de la integración e interpretación de los mapas de espesores brutos obtenidos a partir de los datos de base y cima de las arenas de cada uno de los pozos analizados y, a su vez, para cada una de las secuencias. Notando una variación de las fuentes de aporte para cada secuencia estudiada.

3.2 Límites de secuencias

Limite de Secuencia Mioceno Medio 11.7 millones de años (LS_MS_11.70)

El rango de edad establecido para esta secuencia es de 11.2 a 11.7 millones de años. Esta secuencia representa el primer evento regional de formación de abanicos de piso de cuenca, con zonas de abastecimiento múltiple; así mismo, es el primer evento de sedimentación posterior al relleno de la paleotopografía, producto de la acción de los paleocañones del Mioceno Inferior. Por lo que, sus principales fuentes de aporte coinciden con las de los antiguos cañones.

Ambiente de depósito: para este momento la cuenca presenta una depresión bordeada al norte y occidente por taludes y al oriente, por un alto relativamente bajo. Esta depresión presenta una orientación NW-SE. La sedimentación llega a ella a través de fuentes múltiples ubicadas al occidente y nor-occidente. En el occidente los taludes presentan remanentes de los antiguos cañones y son zonas de paso del sedimento. Bajo estas condiciones, la cuenca es rellenada con sedimentos procedentes del occidente; los cuales, una vez que llegan a la depresión, cambian de dirección hacia el sur. Debido a estas condiciones se presentan dos tipos de depósitos:

- 1.- Abanicos de pie de talud, desarrollados hacia las desembocaduras de los antiguos cañones con una dirección de depósito Este-Oeste y NW-SE.
- 2.- Abanicos de piso de cuenca formados dentro de la depresión con dirección de depósito NW-SE.

3.- Sistemas de canales meándricos con orientación NW-SE.

Limite de Secuencia Mioceno Superior 9.26 millones de años (LS_MS_09.26)

EL rango de edad establecido para esta secuencia es de 7 a 9.26 millones de años. Esta secuencia representa el segundo evento regional, donde se forman abanicos de piso de cuenca de amplio desarrollo lateral, que son abastecidos de sedimentos a partir de diferentes puntos o zonas.

Ambiente de depósito: esta secuencia representa la transición en el cambio de dirección de aporte regional de la sedimentación en la cuenca. Para este momento la cuenca empieza a perder las fuentes de aporte procedentes del occidente e inicia el aporte de sedimentos del noroeste. Así mismo, existe la posibilidad de que la cuenca aun no presente barreras topográficas significativas que impidan una distribución lateral amplia de la sedimentación. Por lo cual, la característica principal de esta secuencia es el desarrollo de abanicos de piso de cuenca con una amplia distribución lateral. Los pozos que cortan esta secuencia muestran el desarrollo de abanicos de piso de cuenca, formados por canales, desbordes proximales (diques) y dístales. Todos ellos coalesciendo para formar un gran abanico de carácter regional.

Limite de Secuencia Mioceno Superior 6.98 millones de años (LS_MS_06.98)

Su rango de edad es de 6 a 6.98 millones de años. Esta secuencia está formada por depósitos que representan la transición de abanicos de piso de cuenca de amplio desarrollo lateral a abanicos dominados por canales; por lo cual, está compuesta por una interdigitación de canales meándricos y abanicos de piso de cuenca

Ambiente de depósito: para este momento, en el norte de la cuenca se desarrolla un talud con un grupo de entrantes orientadas NW-SE. En el oeste se presenta una depresión limitada al occidente por taludes y hacia el oriente, por el trend estructural Loma Bonita, el cual para este tiempo muestra una erosión en su cresta.

En el oriente se encuentra otra depresión limitada al occidente por el trend Loma Bonita y desconociéndose su límite hacia el oriente.

Las mencionadas depresiones son rellenadas gradualmente por abanicos submarinos de piso de cuenca procedentes del NW. La dispersión de la sedimentación es controlada por la paleo-topografía; por ello, los abanicos que rellenan ambas depresiones presentan una dirección de depósito paralela a los trenes-estructurales (Figura 8). Estos abanicos son de carácter progradante y están compuestos por una serie de lóbulos o abanicos secundarios y canales meándricos. Se pueden diferenciar al menos tres grupos de lóbulos y canales apilados:

- 1.- Lóbulos orientales, apilamiento de canales, diques y lóbulos.
- 2.- Canales meándricos y lóbulos centrales: en la base dominan los abanicos con canales trenzados y en la cima abanicos con canales meándricos y lóbulos.
- 3.- Canales meándricos y lóbulos occidentales: dominio de canales meándricos y lóbulos. Esta secuencia es productora en los Campos Vistoso, Apertura, Playuela, Cocuite y Papan.

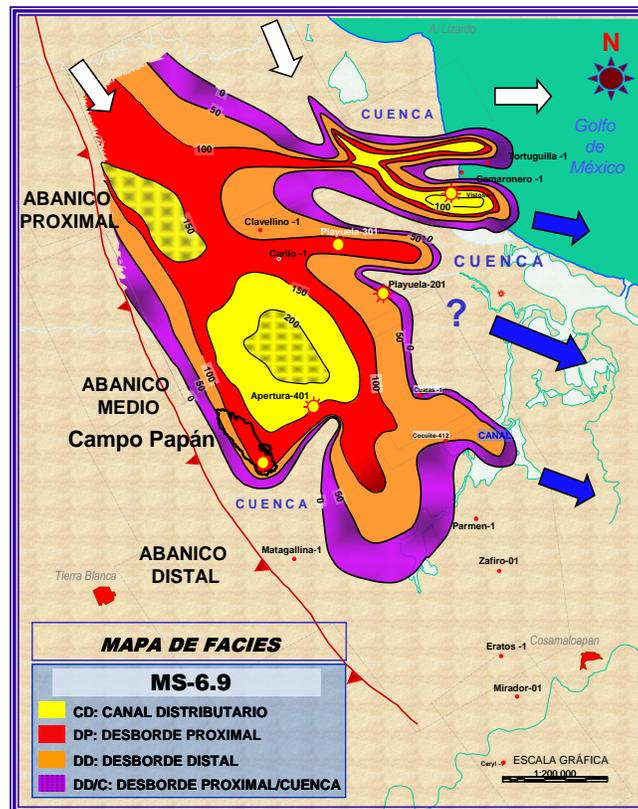


Figura 8.-Mapa de Facies de la Secuencia LS_MS_6.98.

Limite de Secuencia Mioceno Superior-Plioceno Inferior 5. 73 millones de años (LS_MS_PI_05.73)

Su rango de edad es de 5 a 5.73 millones de años. Este período de tiempo está formado por el depósito de abanicos submarinos, dominados por canales meándricos.

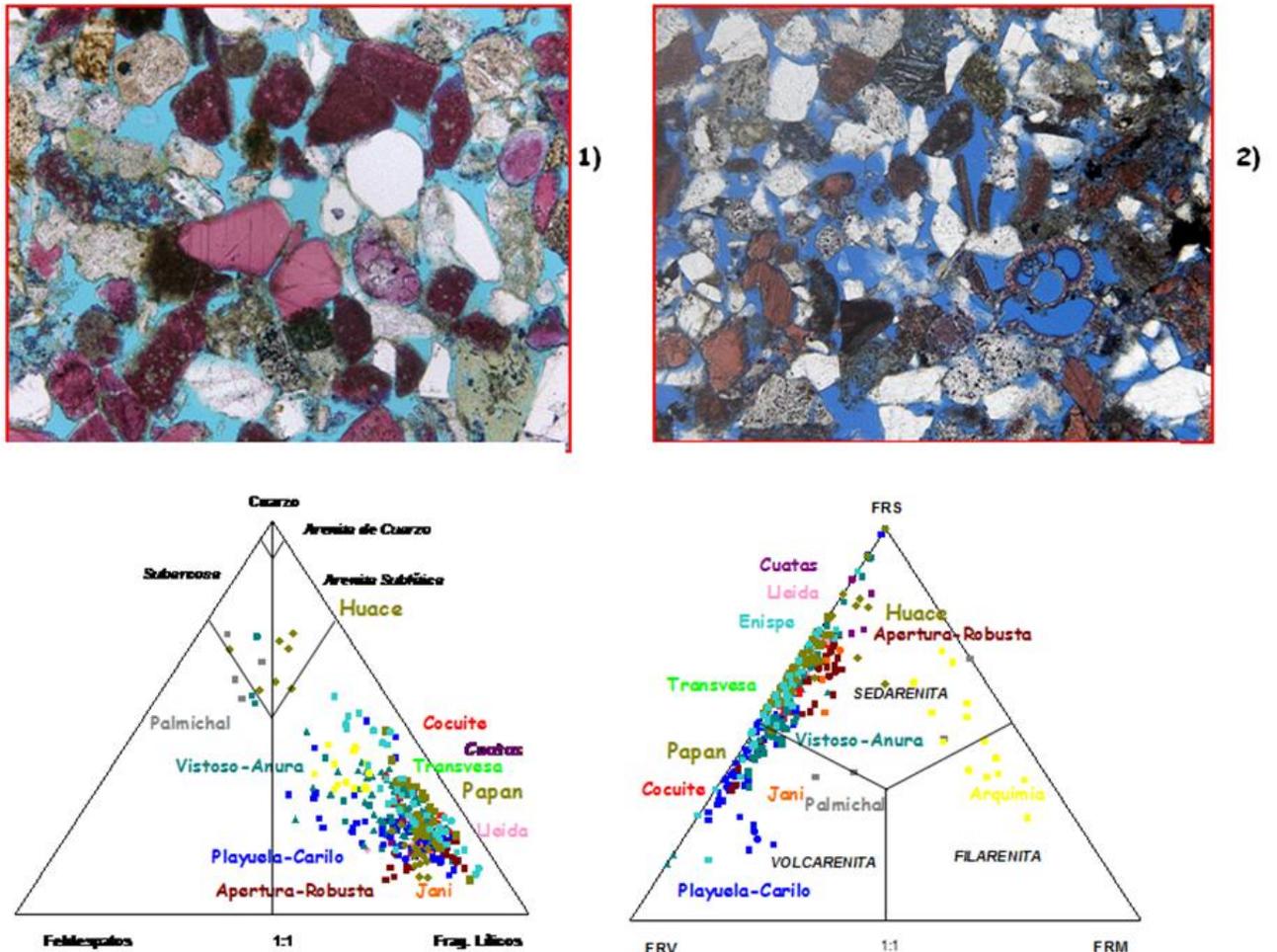
Ambiente de depósito: para este momento la cuenca presenta cierta estabilidad tectónica, con la formación de taludes en el norte y una gran depresión en la parte central. Bajo estas condiciones se deposita un abanico submarino dominado por canales meándricos. Este abanico inicia su depósito desde el Noroeste con un conjunto de canales que tienden a ser rectos y conforme avanzan hacia el centro de la cuenca, se transforman en canales meándricos y trenzados. Hacia la desembocadura de éstos, se presentan lóbulos de carácter arcilloso. Este sistema de canales se deposita bajo condiciones progradantes, por lo cual, es muy común que las columnas cortadas por los pozos presenten una base compuesta por rellenos de canal y una cima de complejos de diques y lóbulos, característica de esta secuencia. Esta secuencia es productora en los Campos Cocuite y Cehualaca.

3.3 Características petrográficas de la Secuencia LS_MS_6.98

De la base de datos petrográficas de las areniscas pertenecientes a los datos de todos los pozos de la Cuenca Terciaria de Veracruz, se clasificaron como **Litarenitas**, en todas las secuencias, de acuerdo al Diagrama Ternario de R.L, Folk, 1974. El siguiente paso fue reconocer que tipo de líticos predominaban en cada una de las secuencias, ya que el Campo Papan se encuentra en esta secuencia, se describirán a detalle las características texturales de ésta secuencia.

En general, son areniscas de granos finos a medio (0.21 mm en promedio) moderadamente bien clasificados. La clasificación moderadamente buena refleja la desviación estándar entre los tamaños de los granos de la roca. Las muestras en ocasiones no contienen arcilla detrítica. Los granos tienen formas angulosas y subangulosas y durante el soterramiento han experimentado rotación produciendo un empaque más cerrado. Se observan abundantes contactos planares entre granos. Los granos constan de cuarzo monocristalino, feldespatos, fragmentos de carbonatos y

fragmentos de roca ígnea de origen volcánico. La porosidad intergranular es buena y el sistema de poro está incrementado por la presencia de poros secundarios aislados, producidos por la lixiviación de granos inestables compuestos de feldespatos y rocas ígneas (Figura 9).



- 1) Litarenitas con dominio de fragmentos de rocas calcáreas
- 2) Litarenitas con mezcla de fragmentos de rocas ígneas y calcáreas

Figura 9.-Análisis Textural de las Litarenitas, Secuencia LS_MS6.98.

La calidad del yacimiento es buena (Reporte de Core Lab, 2005), de acuerdo al análisis de microscopio electrónico de barrido, SEM; las rocas con mejores características de roca almacén se resumen como sigue: se encuentran bastante limpias con mayor presencia de porosidad intergranular y menor cantidad de cementos y arcillas. Predominan las gargantas elongadas en la muestra, angostas por lo general, menor a 10 micras, aunque a veces se presentan con más de 30 micras de largo. Esta forma de la garganta es producto de la compactación de los granos y acercamientos de las partes planas de los granos. Donde se contactan las partes angulares de dos o más granos por lo general, la garganta es más esférica y tiene mayor capacidad de transmitir fluidos. La arcilla de la muestra toma diferentes morfologías, recubriendo granos, pegada a los granos y en ocasiones obstruyendo las gargantas de los poros. Con las imágenes tomadas a mayor aumento, se puede ubicar la abundancia de poros pequeños que representan la microporosidad asociada a las arcillas-esmectíticas. Se ha observado que en muestras de otros pozos de este campo, las cuales presentan menores cantidades de arcilla y valores promedio de 28% de porosidad, llegan a alcanzar un rango de permeabilidad entre 800 -1000 mD.

3.4 Procedencia

La procedencia de sedimentos terrígenos es importante debido a que se ve reflejada en la composición de las areniscas, así como de los procesos sedimentarios que ocurren en la cuenca de depositación y el tipo de rutas de dispersión, que son importantes para la exploración de hidrocarburos, ya que sus composiciones detríticas dependerán también de los procesos diagenéticos que actúen sobre ella, a favor o en contra, para la generación de la porosidad.

Para determinar la procedencia de silicatos para la Cuenca de Veracruz (Paredes 2005), para la secuencia productora de hidrocarburo LS-MS_6.98, la cual se encuentra el campo Papan. El método utilizado se fundamenta en dos tipos de análisis; el petrográfico que basa la procedencia en las proporciones de los diferentes tipos de granos detríticos de las areniscas y el geoquímico, con la composición química de los principales elementos de las rocas que determinan la procedencia en su trabajo; consideró a la tectónica de placas como factor clave

entre las áreas de procedencia y la cuenca. El estudio abarcó los campos Cocuite, Playuela y Vistoso, éstos se encuentran de la secuencia LS-MS_6.98 y el campo Papan al igual como se observa en la (Figura 10).

| EDAD | LIMITE DE LA SEC. DEPOSITACIONAL | NOMBRE DE LA UNIDAD | SISTEMA DE DEPOSITO | UNIDAD PRODUCTORA |
|------------------|----------------------------------|--|---|--|
| RECIENTE | | | | |
| PLIOCENO | LS_PI_04_20 | PI-R-4 | CANALES MEANDRICOS | |
| | MSI_PI_05_00 | PI-5 | | |
| | LS_MS_05_73 | MS-PI-5.7 | | |
| MIOCENO SUPERIOR | MSI_MS_06_00 | MS-6 | PISO DE CUENCA | PLAYUELA, VISTOSO APERTURA, COCUITE, PAPAN |
| | LS_MS_06_98 | MS-6.9  | CANALES MEANDRICOS Y ABANICOS DE PISO DE CUENCA | |
| | MSI_MS_07_08 | MS-7 | PISO DE CUENCA | |
| | | | | |

Figura 10.- Secuencia LS-MS_6.98 y campos involucrados.

Ambos métodos indican que las arenas de las secuencia LS-MS_6.98 en los campos Vistoso y Playuela, provienen de un arco magmático y del margen de Rift continental; siendo la principal fuente de aporte, la Provincia Alcalina del Este de México aunque también pudo haber influencia del vulcanismo de Anegada y los Tuxtlas; los constituyentes carbonatados de ambas secuencias tienen como fuente litológica de aporte, el frente tectónico actualmente sepultado de la Sierra Madre Oriental.

Con el estudio petrográfico se determinó que los principales constituyentes líticos de las muestras de los campos Playuela y Vistoso, son principalmente fragmentos líticos volcánicos (basaltos y traquitas)

Vulcanismo en el área

Existen dos grandes provincias magmáticas: el Cinturón Volcánico Transmexicano y la Provincia Alcalina del Este de México. Cantagrel y Robin (1979) mencionan que el cinturón Volcánico Transmexicano consiste principalmente de rocas andesíticas del Mioceno y Cuaternario; mientras que en la Provincia Alcalina del Este de México, consiste de rocas volcánicas de tipo subsaturadas y alcalinas

sobresaturadas que parecen tener una edad del Oligoceno al Cuaternario. La principal actividad volcánica en la Cuenca de Veracruz ocurre durante el Plioceno y Cuaternario; esta actividad ocurre a lo largo del cinturón volcánico transmexicano y al sur en Los Tuxtlas.

El estudio de procedencia se basa principalmente en las proporciones relativas de diferentes tipo de granos detríticos de las areniscas y sirven como guía para determinar la naturaleza de las rocas fuentes; por lo que, su composición refleja el carácter de la procedencia (Dickinson, 1980). Las relaciones clave entre la procedencia y la cuenca, son gobernadas por la tectónica de placas, la cual controla la distribución de los diferentes tipos de roca; sin embargo, es importante mencionar que la composición final de las areniscas puede estar afectada por otros factores tales como el clima y el ambiente depositacional (Dickinson, 1980).

Las areniscas de Mioceno Superior (MS-6.98) tienen un tamaño promedio de grano fino, la selección es de moderada a buena en las arenas de la secuencia y los clastos tienen en general una redondez que varía de subanguloso a subredondeado. La litología encontrada en los campos Playuela, Cocuite y Vistoso son principalmente litarenitas y litarenitas feldespáticas para esta secuencia como se observa en la clasificación de areniscas según Folk (1968) (Figura 11).

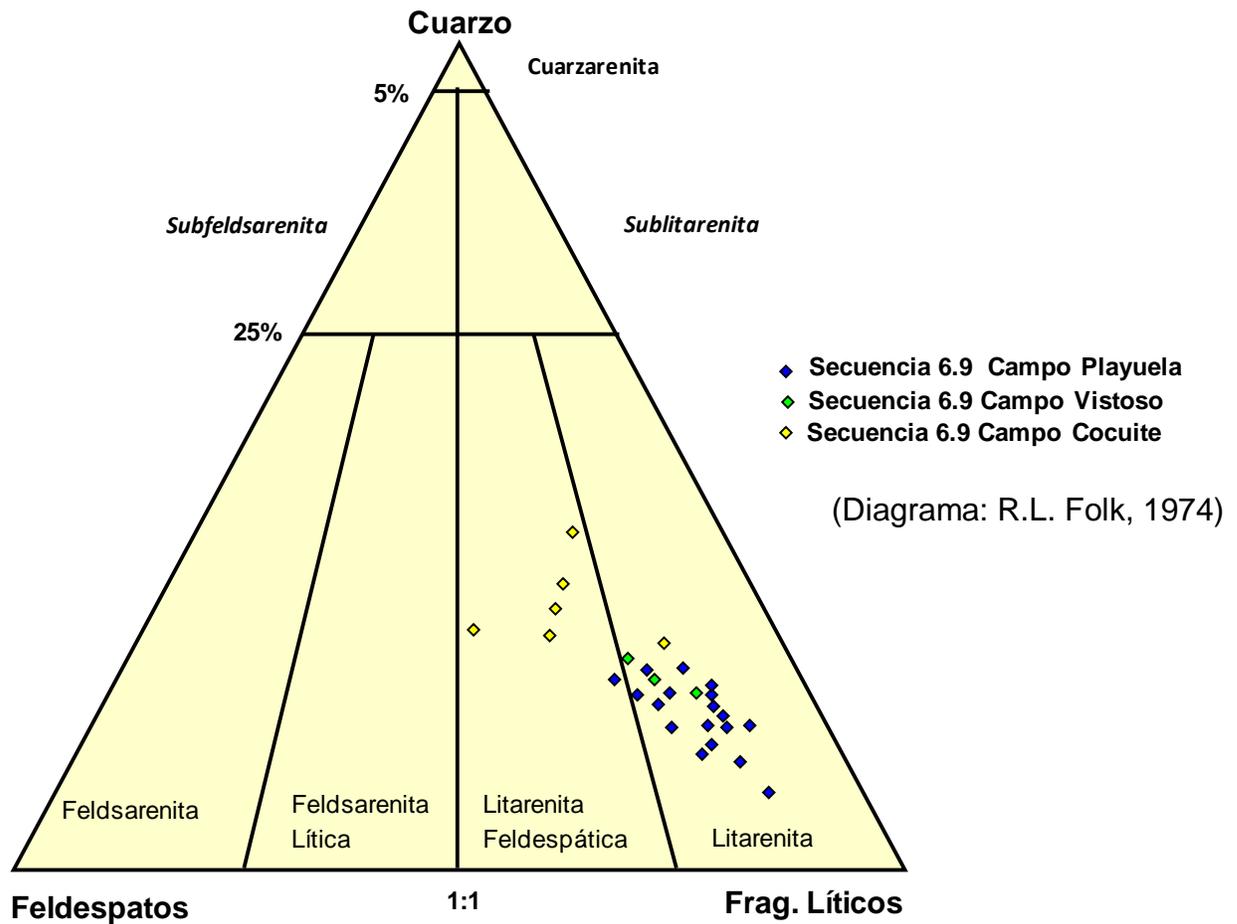


Figura 11.- Diagrama ternario para los campos Playuela, Vistoso y Cocuite (este trabajo).

Las areniscas encontradas en las muestras del campo Papan se muestran en el siguiente diagrama ternario (Figura 12), en el que se observa, una clasificación de litarenita y litarenita feldespática.

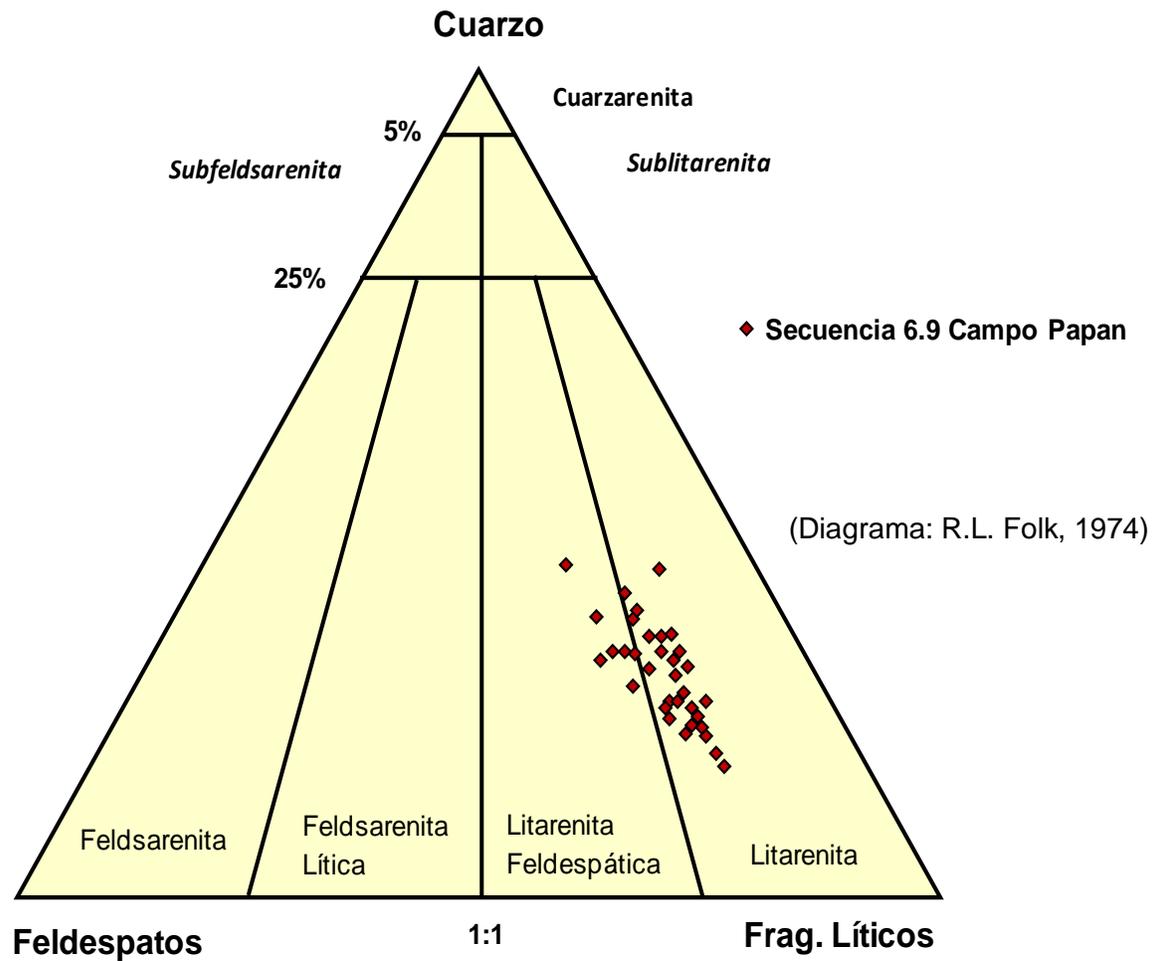


Figura 12.- Diagrama ternario para el campo Papan (este trabajo).

Las figuras 11 y 12 muestran que los campos Playuela, Vistoso, Cocuite y Papan para la secuencia MS-6.98, tienen la misma procedencia.

4.- MARCO TECTÓNICO

4.1 Tectónica-Estructural

La cuenca terciaria de Veracruz está localizada al sureste de la margen del Golfo de México. Está bordeada hacia el norte por el cinturón volcánico Trans-Mexicano; hacia el oeste, por la plataforma de Córdoba; por el sur por la Cuenca Salina; está separada del Golfo de México por altos estructurales asociados con las estructuras volcánicas de los Tuxtlas y Anegada (Figura 13).

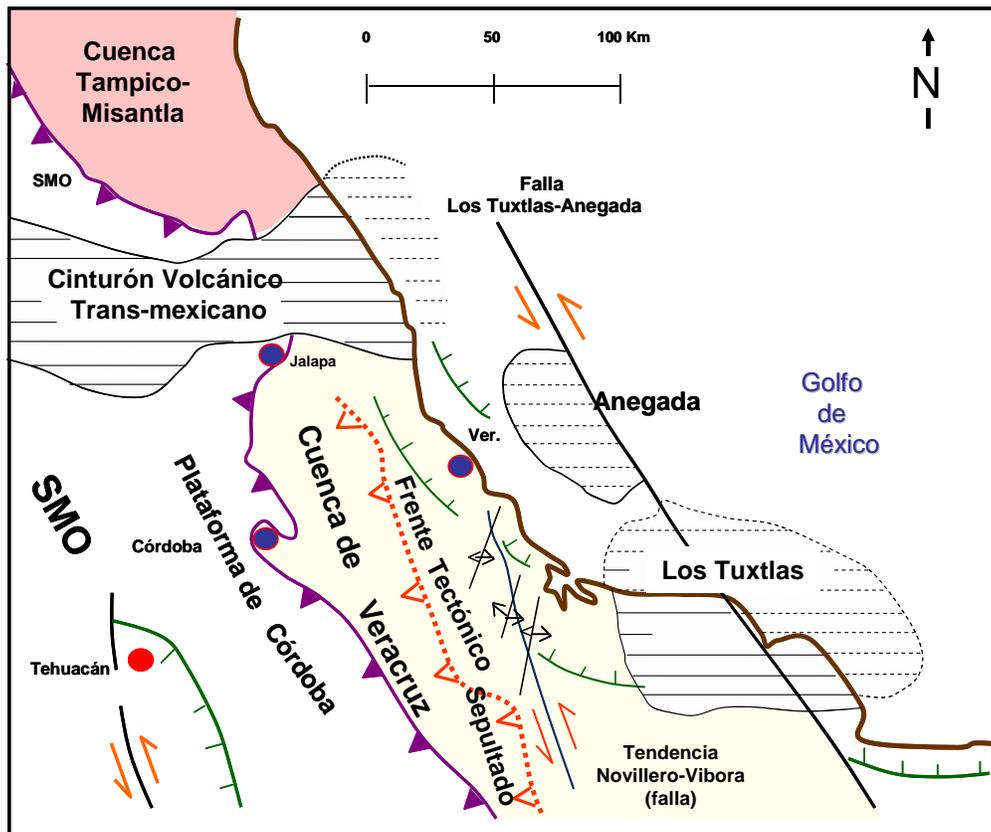


Figura13.- La figura muestra la ubicación de la cueca de Veracruz con respecto al Golfo de México y sus estructuras adyacentes.

La cuenca terciaria de Veracruz esta localizada entre dos importantes limites de placas del Norte de América (Figura 14).

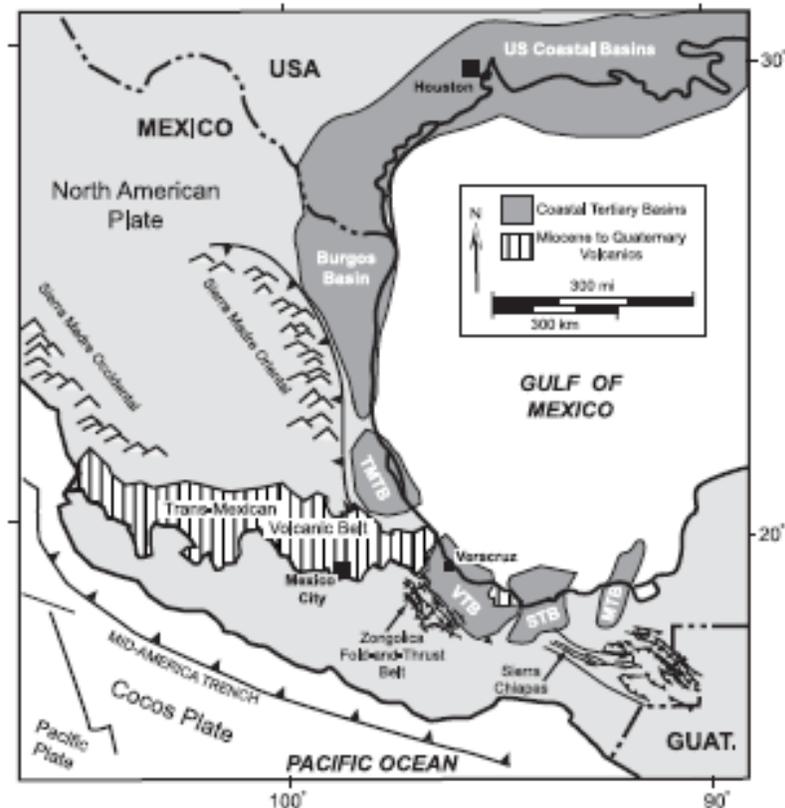


Figura 14.- La figura muestra las cuencas circundantes, elementos tectónicos y volcánicos en las cercanías de la Cuenca terciaria de Veracruz.

Los límites de las placas transpresiva Caribe-Norte Americana y la trinchera convergente Media-Americana, yacen al sureste y al suroeste respectivamente (eg., Pindell, 1994). La historia de la cuenca de Veracruz esta dominada por una evolución tectónica combinada de estas dos márgenes de placas. Primero la proximidad de estos rasgos mantienen en general un marco compresional para Veracruz durante mayor parte del Cenozoico. Compresión creada en el pre-Neógeno que sostiene en la Sierra de Zongolica, el cual consiste de cabalgaduras de capas de la Plataforma de Córdoba (e.g., Prost y Aranda, 2001). Esta sierra es de estilo laramídico y forma al oeste la margen de la Cuenca de Veracruz, (Figuras 13 y 14). Aunque el acortamiento terminó antes del Oligoceno, el alto relieve de la Sierra ha tenido un efecto duradero en el sistema de aporte de sedimentos para la cuenca en el Oligoceno y Mioceno. El punto triple entre las placas de Farallon, Norte América y del Caribe se movió progresivamente al sureste, extendiéndose a

la trinchera Media-Americana (eg., Pindell,1994). Esta actividad llevó a la cuenca a una zona de subducción lo que produjo vulcanismo. Un vestigio de esta actividad volcánica es el cinturón volcánico Trans- Mexicano, el cual jugó un importante papel en la evolución tectónica y estratigráfica de la cuenca de Veracruz (Ferrari et, al., 1999)

El límite geográfico restante de la cuenca de Veracruz esta relacionado a la reactivación de los rasgos del basamento (Moore y Castillo 1974; Prost y Aranda, 2001) que definen hacia el este el limite de la cuenca los Altos de Anegada y la zona costera de Los Tuxtlas. Ambos rasgos, tienen características que forman una tendencia que puede representar una orientación de una paleotransformación relacionada con la apertura del Golfo de México en el Mesozoico Tardío (Prost-Aranda, 2001). Hacia el sur el límite de cuenca es una serie de basamentos de complicados lineamientos estructurales que dividen al relleno de cuencas del Terciario de Veracruz y Salina del Istmo.

4.2 Marco Estructural

Jennette-Wawrzyniec et.al, 2003, en estudios recientes reconocen seis estructuras dominantes o regiones que han tenido asociaciones comunes de estilo estructural y deformación coordinada, los cuales son: Homoclinal Margen Oeste, Anticlinal Loma Bonita, Sinclinal Tlacotalpan, Altos Anegada, Anton Lizardo y Coatzacoalcos Reentrant (Figuras 15 y 16). Estos ámbitos proporcionan la forma del desarrollo para un mejor entendimiento de las relaciones entre la deformación, distribución del yacimiento, desarrollo del entrapamiento y posteriormente los parámetros de riesgo junto al estilo estructural.

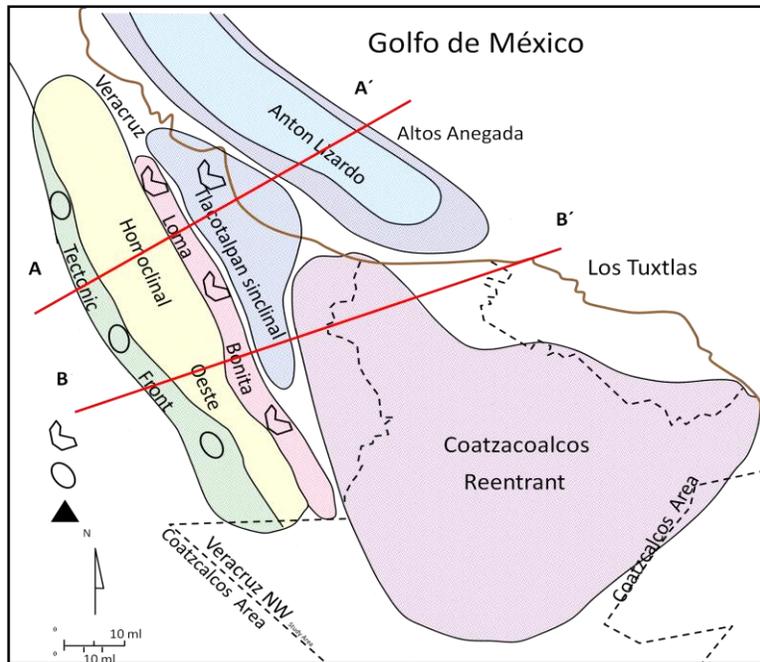


Figura 15.- La figura muestra las regiones estructurales en la cual se divide la Cuenca de Veracruz.

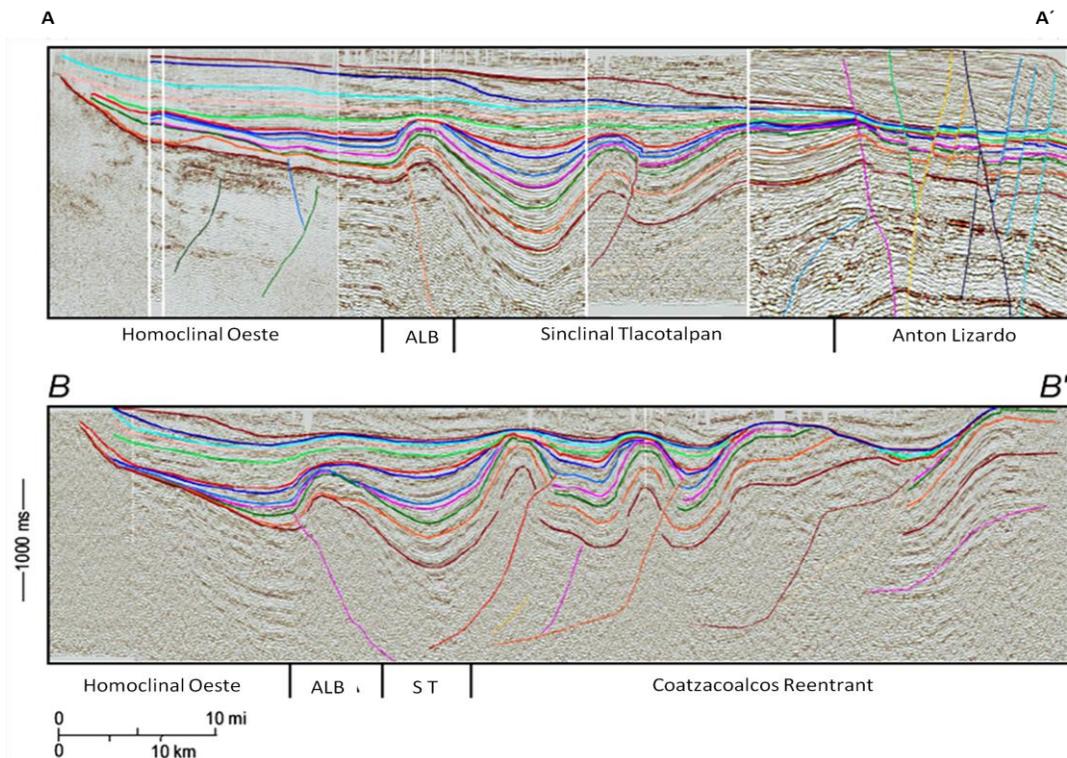


Figura 16.- La figura muestra las secciones sísmicas de las características estructurales presentes en la Cuenca de Veracruz.

Homoclinal Margen Oeste.- En esta estructura se encuentra ubicado el Campo Papan, que es una depresión que comenzó su formación en el Mioceno Medio y continuó durante el Mioceno Superior-Plioceno. Su principal estilo estructural está formado por amplios pliegues con sus ejes principales con dirección norte-sur, constituido por rocas del Paleoceno-Eoceno (e.g. Perdiz anticlinal) y sus respectivos sinclinales (e.g. profundo Apertura-Madera) con cierra al este por fallas inversas con sus ejes axiales inclinados hacia el oeste, edad del homoclinal del Mioceno Superior-Plioceno, con dirección general de NW-SE (e.g. shallow Apertura) (Figuras 15 y 16).

Anticlinal Loma Bonita.- (ALB).- Esta estructura está dominada por efectos compresivos e involucra un sistema de fallas inversas, relacionadas a la dirección Novillero-Víbora (Figura 15 y 16, línea A). Estratigráficamente tuvo una fuerte influencia de aporte de sedimento durante el Terciario.

Sinclinal Tlacotalpan (ST).- Esta área esta definida como una estructura baja entre la dirección de Loma Bonita y el Alto Anegada. Esta actúa como una subcuenca durante la sedimentación activa (Figuras 15 y 16, líneas A, B). Los estratos se ensanchan en dirección del centro del sinclinal y adelgazan a lo largo del levantamiento, invirtiendo los márgenes. El hundimiento y expansión comenzaron en el Oligoceno y correlacionan el estado de decrecimiento de edad laramídica reduciéndolo en el sepultamiento del frente tectónico, estos continuaron a lo largo del Mioceno y Plioceno.

Altos Anegada.- Esta orientada con dirección noroeste se extiende desde mar abierto del centro de Los Tuxtlas y termina mar abierto cerca de la ciudad de Veracruz. Anegada define el margen con dirección hacia el este de la cuenca de Veracruz de edad Mioceno Medio. Esta estructura esta expresada como una suave flexión hacia arriba o protuberancia lineal y adelgazamiento de estratos del Terciario Inferior (Prost and Aranda, 2001).

Antón Lizardo.- Esta estructura yace a lo largo del este del margen de la cuenca y consistente principalmente de pendientes, fallas normales que combinan en una zona subvertical. La estructura esta asociada con dos centros volcánicos: el volcánico submarino de Anegada (Moore y Castillo, 1994; Jacobo-Albarran, 1997) y el volcánico Los Tuxtlas (Figuras 15 y 16). Esta estructura ha estado activa desde el Mioceno Medio y esta asociada con vulcanismo activo, antiguo y moderno.

Coatzacoalcos Reentrant.- Esta formado por pliegues y por un cinturón de cabalgaduras hacia el sur de la cuenca. Las fallas aparecen solas a lo largo de una profundidad común y los ejes de los pliegues son cóncavos dentro del foreland (Figuras 15 y 16 línea B). La asociación de capas de estratos indica que la actividad tectónica inicia en la última parte de Mioceno Temprano y hasta el Mioceno Tardío, muchos pliegues actualmente siguen activos. Jennette-Wawrzyniec et.al, 2003 interpretan a esta zona como una región de activo tectonismo que comienza a mediados del Mioceno.

A5.-Petrografía y diagénesis

5.1 Metodología

El presente trabajo consistió en el estudio petrográfico- diagenético en 82 láminas delgadas de los pozos Huace-1 N2; Papan-1 n1; Papan-11 N1; Papan-13 N1, N2; Papan-73 N1, N2, N3, N4; Papan-92 N1, N2; N3 y Papan-113 N1; se determinaron las características texturales de las rocas del yacimiento así como composición mineralógica, transporte, depósito, respuesta de registros eléctrico SP y Rayos Gamma y diagénesis. El equipo utilizado es el siguiente:

Microscopio Petrográfico Leica con Objetivos 5X, 10X, 20X, y 100X, y cámara fotográfica Wild MPS 51S para la toma de las imágenes.

Analizador de imágenes.- Microscopio petrográfico/mineragráfico, marca Nikon equipado con objetivos 5X, 10X, 20X, 40, 60X, cámara marca Hitachi CCD modelo KP MIE/K blanco y negro, software Omnimet (distribuido por Buelher). Estos sistemas confían principalmente en el nivel gris de la imagen presentada en el monitor de la televisión para detectar características deseadas. En algunos casos, la condición de complejas imágenes puede ser utilizada para ayudar a la separación de elementos. Este detecta hasta 250 tonalidades de grises entre blanco y negro, emitido por la difracción de los minerales en una lámina delgada o superficie pulida, estas tonalidades proporcionan información sobre la delimitación de la partícula y así poder dar información de tamaño y porcentajes de las fases minerales que se están observando. El tamaño de grano esta expresado por la norma americana International, originalmente conocida como American Society for Testing and Materials (ASTM) para este estudio se uso la norma ASTM- E112 que mide tamaño de grano, se usara su equivalencia en milímetros y/o micras (ver Anexo 1). La ecuación básica que define la norma ASTM- E112 es la siguiente:

$$n = 2^{G-1}$$
$$G = \frac{\log n}{\log 2} + 1$$

n: es el número de granos por pulgada cuadrada a 100 veces.

G es la ASTM (Timken) el número de tamaño de grano.

Las actividades realizadas son las siguientes:

1.- Recopilación de datos, revisión de trabajos de previos y marco geológico regional del área

2.- Revisión de información de estudios petrográficos previos, estratigrafía y sedimentológica.

3.- Analizar la composición litológica de la roca almacén y clasificarla según Folk, 1954 en el microscopio petrográfico.

4.- Observación de las siguientes características texturales al microscopio petrográfico:

a) Tamaño.- característica que está en función de la disgregación mecánica de la roca y litología de la fuente de aporte.

b) Selección.- Resultado de la competencia del agente de transporte.

c) Forma.- Depende de la alta o baja modificación mecánica de los granos individuales.

d) Redondez.- Esta determinada por la intensidad y tipo de transporte.

5.- Clasificación de la roca en base a su empaque y madurez.

6.-Determinar que factores propiciaron generación de la porosidad.

7.- Determinar procesos de procedencia de la roca (ver capítulo 3.4).

8.- Obtener la diagénesis y sus procesos de generación.

5.2.-Atributos texturales

Las rocas sedimentarias son una asociación de fases minerales, muchas de sus propiedades dependerán de las características de partículas aisladas; propiedades

correspondientes a la textura, que es la asociación y la interrelación entre las partículas.

La textura se puede definir como la organización elemental del sedimento a la escala de las partículas que lo constituyen; éste concepto tiene un fuerte significado dinámico, puesto que sus elementos se modifican a lo largo de la evolución del sedimento. Las características texturales de las rocas sedimentarias clásticas son:

- a) Tamaño.- Esta en función de la disgregación mecánica de la roca y litología de la fuente de aporte.
- b) Selección.- Resultado de la competencia del agente de transporte.
- c) Forma y esfericidad.- Depende de la modificación mecánica de los granos individuales.
- d) Redondez.- Dependerá de la intensidad de transporte.

5.2.1 Tamaño

Existen una gran variedad de métodos por los cuales se puede medir el tamaño de las partículas. Dos de ellos son medir 1) el diámetro y 2) el volumen de la partícula, este último se limita a sedimentos no consolidados.

El tamaño del grano se define por el diámetro, éste se mide directamente o indirectamente por tamizado a través de mallas, dando el diámetro más pequeño que atraviesa, o por el diámetro de una esfera que con igual densidad tenga la misma velocidad de sedimentación en un fluido determinado. Las técnicas de medida están condicionadas por la propia dimensión del grano: medida directa en los tamaños grandes, tamizado o microscopio en tamaños de arena y microscopio electrónico en las partículas más finas. Las partículas serán medida en el microscopio petrográfico usando la escala de Wentworth, 1922 (Figura 17).

| Diametro | | | Sedimento | | Roca |
|----------|--------|--------|------------------|---------|---------------|
| mm | micras | Φ | | | |
| 4.096 | | -12 | GRAVA | BLOQUES | CONGLOMERADOS |
| 256 | | -8 | | CANTOS | |
| 64 | | -6 | | | |
| 4 | | -2 | | | |
| 2 | | -1 | | | |
| 1 | | 0 | | | |
| 0.5 | 500 | 1 | Arena muy gruesa | | ARENISCAS |
| 0.25 | 250 | 2 | Arena gruesa | | |
| 0.125 | 125 | 3 | Arena media | | |
| 0.062 | 62 | 4 | Arena fina | | |
| 0.031 | 31 | 5 | Arena muy fina | | LIMOLITAS |
| 0.016 | 16 | 6 | Limo grueso | LUTTAS | |
| 0.008 | 8 | 7 | Limo medio | | |
| 0.004 | 4 | 8 | Limo fino | | |
| | | | Limo muy fino | | |
| | | | Arcilla | | ARCILLITAS |

Figura 17.- Clases granulométricas, escala de Wentworth (1922).

5.2.2 Selección

Propiedad que describe la variabilidad del tamaño de grano en una roca sedimentaria clástica. Aquellas rocas que muestran sólo una clase granulométrica bien definida, en donde el tamaño de todas sus partículas es similar, se dice que está bien seleccionada. Por oposición, aquellas en que sus constituyentes presentan una gran diversidad de tamaños se denominan mal seleccionadas. La selección de una roca es una propiedad que condiciona fuertemente su porosidad y por lo tanto su comportamiento frente a la circulación de fluidos, (Figura 18).

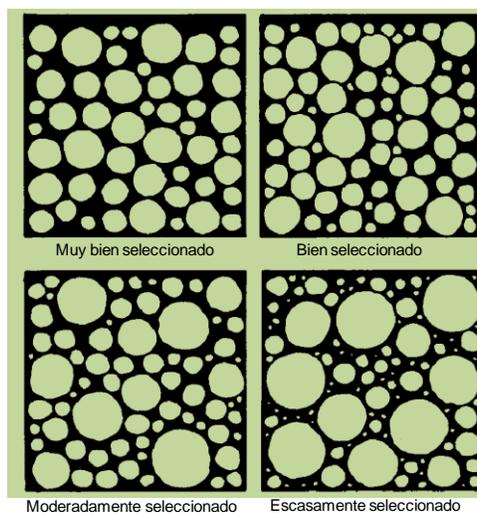


Figura 18.- Determinación cualitativa de la selección

5.2.3 Forma y esfericidad

La forma está relacionada con conceptos geométricos, como redondez y angulosidad, mismos que son de gran importancia para definir la forma de los sedimentos, además de controlar particularmente su comportamiento durante el transporte y depósito reflejando así la distancia que recorren las partículas.

La forma y redondez de los sedimentos son usadas para descifrar el intemperismo y transporte que sufrieron: los más inmaduros suelen ser angulosos y de baja esfericidad, mientras que los más evolucionados, los que encontramos más lejanos al área fuente, suelen ser mucho más redondeados y de mayor esfericidad, debido al efecto abrasivo del transporte. La esfericidad es la relación entre la longitud y la extensión de las partículas, (Figura 19).

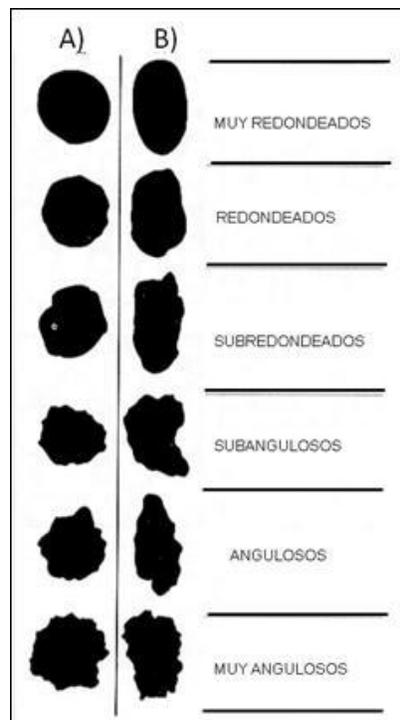


Figura 19.- Grados de redondeamiento para granos A) alta y B) baja esfericidad (Pettijohn, 1973)

5.2.4 Empaque

Está caracterizado por el arreglo de los elementos clásticos de la muestra que se encuentran en contacto y puede ser mediante contactos puntuales, tangenciales,

planares, cóncavos – convexos o suturados dependiendo de la intensidad de sepultamiento.

Es un aspecto importante para determinar la calidad del yacimiento, ya que cuando aumenta el empaque disminuye el volumen y tamaño de poro, afectando la permeabilidad y la porosidad.

El cálculo del empaque de cierta forma es subjetivo, ya que depende del área de estudio de la muestra y sobre todo se tiene que tener cuidado con procesos de sobrecrecimiento de los granos que se observan.

5.2.5 Madurez

Es el grado de diferenciación que alcanza un sedimento frente al material original del que precede, el sedimento de tamaño homogéneo y bien redondeado se define así.

Se entiende como madurez el grado de abrasión y/o transporte, que se refleja en una mayor esfericidad en los sedimentos conforme son acarreados a mayores distancias.

El concepto de madurez de un sedimento hace referencia al grado de desarrollo que han alcanzado los procesos generadores de esos sedimentos y que conducen, en su máxima expresión, a sedimentos estables composicionalmente y texturalmente homogéneos (sedimentos maduros). Habitualmente, en los sedimentos se diferencian los conceptos de madurez textural y madurez mineralógica.

La madurez mineralógica implica la retención por la roca de sus componentes minerales más estables, es decir, los sedimentos mineralógicamente más maduros son aquellos que contiene un porcentaje mayor de minerales químicamente estables y físicamente más resistentes, como el cuarzo y minerales pesados ultraestables (zircón, turmalina, etc.). En consecuencia, los sedimentos más inmaduros contienen minerales pocos estables, como los feldespatos o fragmentos de roca que no están formados sólo por cuarzo.

La madurez textural representa el grado de desarrollo que han alcanzado los procesos de transporte y sedimentación, y si éstos han sido o no selectivos. La madurez textural puede ser evaluada mediante parámetros, como el grado de clasificación, la proporción de matriz y el redondeamiento de los granos (depende del tamaño y la resistencia mecánica de los granos y, en general, aumenta con el transporte). Folk (1951) propone una escala de madurez que comprende:

1. Estado inmaduro: el sedimento contiene más del 5% de matriz arcillosa; los granos están mal clasificados y con escaso redondeamiento.
2. Estado submaduro: < 5% de matriz arcillosa; los granos están mal clasificados y con poco redondeamiento.
3. Estado maduro: de escaso a nulo contenido de arcilla; los granos están bien clasificados aunque no bien redondeados.
4. Estado supermaduro: el sedimento carece de arcilla; los granos están bien clasificados y con buena redondez.

5.3 Porosidad

Propiedad física más importante en las rocas almacenadoras de hidrocarburos. En especial en las arenas ya que es una excelente roca almacén. Se origina en la corteza, antes del sepultamiento efectivo, bajo la influencia directa de los ambientes de depósito, pero puede desarrollarse también durante el sepultamiento efectivo antes de llegar al campo del metamorfismo y durante periodos de exposición de la roca. Se clasifica en porosidad primaria y secundaria:

5.3.1 Porosidad Primaria

Porosidad intergranular: espacio vacío entre los granos de una roca.

Porosidad intragranular: espacio vacío en el interior de los granos.

Porosidad intercrystalina: espacio vacío entre cristales precipitados primariamente.

5.3.2 Porosidad Secundaria

Porosidad de disolución: aparece cuando se disuelven cementos o clastos metaestables (feldespatos, clastos líticos).

Porosidad intercrystalina: poros remanentes entre cristales de cemento o precipitados autógenos.

Porosidad de fracturas: debida a procesos de contracción (deseccación); compactación o esfuerzos tectónicos.

Los procesos químicos, físicos, fisicoquímicos, bioquímicos y biofísicos, provocan porosidad secundaria en areniscas a través de la percolación del agua y reducción de los constituyentes de la roca, o bien a través de las fracturas o cavidades realizadas por los organismos.

La porosidad secundaria puede ser reducida y modificada texturalmente por procesos que reducen la porosidad primaria: (1) cementación autógena, (2) disolución en el contacto de los granos y (3) mecanismos de compactación.

5.4.-.Clasificación y registros geofísicos

La importancia de los registros geofísicos de pozos es que podemos medir parámetros físicos relacionados a las propiedades geológicas de los estratos, además de aportar información acerca de los fluidos presentes en los poros de la roca (agua, petróleo o gas); la interpretación de los perfiles puede ser dirigida a los mismos objetivos que llevan los análisis de núcleos convencionales, las principales curvas que se analizaron en este trabajo, porque dan una buena respuesta en arenas son:

Potencial Espontáneo (Spontaneity Potencial = SP)

La curva del SP registra el potencial eléctrico producido por la interacción entre el agua de formación, arcillas, arenas y el fluido de perforación (conductor), este voltaje es resultado de una corriente continua que se genera en dichos bordes por la diferencia de salinidad. Cuando la salinidad del lodo de perforación es menor

que la salinidad del agua de formación se produce un intercambio iónico de la formación al pozo y el SP es negativo. Las arenas poco consolidadas que contienen agua dulce poseen registros SP positivos y las arenas que contienen agua salada dan registros SP negativos. Cuando la salinidad del lodo de perforación es similar a la salinidad del agua de formación, entonces no se produce ningún intercambio iónico y el SP es neutro en estos casos, el SP no sirve de mucho. Frente a las capas de lutitas no se produce intercambio iónico evidente y por lo tanto el SP es neutro, (Figura 20). La forma de la curva del SP y la amplitud de la deflexión enfrente a la capa permeable dependen de varios factores.

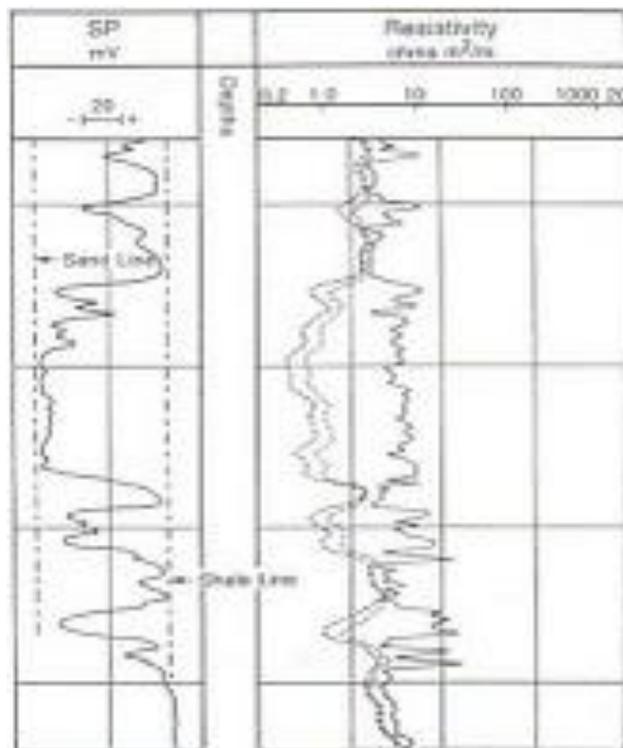


Figura 20.- Respuesta de la curva SP

Factores que afectan la curva SP:

Los factores que afectan la distribución de las líneas de corriente del SP y las disminuciones de potencial que tienen lugar en cada uno de estos medios a través de los que fluye la corriente de SP son:

- Tipo de fluido de perforación utilizado (lodo), es decir conocer sus características de salinidad.
- Diámetro de invasión de la zona contaminada con lodo.
- Espesor de capa h.
- Resistividad verdadera R_t de la capa permeable (formación).
- Baja permeabilidad.
- Inclusiones de lutitas, presentes como cuñas dentro la capa permeable.
- Diámetro del agujero.
- Temperatura.
- Fracturas y fallas.

Usos de la curva de SP

- Determinar valores de R_w (resistividad del agua de formación).
- Seleccionar zonas permeables, solo cualitativamente no proporciona un valor de K , ni compara permeabilidades.
- Estimar el contenido arcilloso de la roca reservorio.
- Correlacionar unidades litológicas y ayuda a definir modelos depositacionales.
- Ayuda a definir arenas.

Rayos Gamma (Gamma Ray =GR)

Se basa en la medición de las emisiones naturales de rayos gamma que poseen las rocas. Durante la meteorización de las rocas, los elementos radiactivos que estas contienen se desintegran en partículas de tamaño arcilla, por lo tanto las lutitas tienen emisiones de rayos gamma mayores que las arenas. Mientras

mayores el contenido de arcilla de las rocas mayor es la emisión de GR de las mismas. Los minerales radiactivos principales son: el potasio (K), el thorio (Th) y el uranio (U). Se lee de izquierda a derecha (Si el GR es bajo indica bajo contenido de arcilla y si es alto indica alto contenido de arcilla. La unidad de medida es en grados API, con un rango de valores que generalmente va de 0 a 150 API.

5.5 Diagénesis

La diagénesis involucra el estudio de todos los procesos que afectan las características físico-químico de los sedimentos y rocas sedimentarias, así como el medio ambiente diagenético en el cual se firmaron o interactuaron. Está controlada por procesos interdependientes entre los cuales se encuentran la profundidad de sepultamiento, composición y textura de los sedimentos, ambiente sedimentológico-tectónico, reacciones químicas, cambios litológicos, gradiente geotérmico-hidrodinámico. La diagénesis puede ser ortoquímica, cuando la composición se mantiene, o aloquímica cuando existe adición o cambio en la composición química de la roca. La diagénesis también puede ser destructiva o constructiva impacta en la distribución, reducción o aumento de la porosidad y permeabilidad dentro del yacimiento.

5.5.1 Ciclo Diagenético

a) Correlación entre la reducción de la porosidad con respecto a la profundidad de sepultamiento debido a la repetición e interacción de los fenómenos de equilibrio termodinámico – sistema agua/roca.

b) La interacción de estos fenómenos resulta en la precipitación o disolución de minerales dentro del sistema poroso de la roca.

c) La evolución natural de los fluidos en el espacio poroso presenta un incremento en la concentración de fluidos o de la salinidad, con respecto al incremento en la profundidad por sepultamiento, lo que favorece la precipitación de minerales y reducción de la porosidad durante la diagénesis.

d) Dentro de este ciclo muchos procesos pueden interrumpirse o ser reversibles en su comportamiento, lo que permite la retención y desarrollo de porosidad, la cual es necesaria para el emplazamiento y acumulación de los hidrocarburos y de depósitos minerales.

5.5.2 Ambientes diagenéticos

Los diferentes ambientes diagenéticos que se pueden distinguir, están relacionados con la hidroquímica de las aguas intersticiales y la forma de circulación de las mismas.

El modelo de modificado por Longman, 1981; se pueden considerar ambientes diagenéticos: continental, marino, sepultamiento y la zona de mezclas entre los ambientes marino y meteórico.

1) Medio continental (diagénesis meteórica)

Vadoso

Freático

2) Medio marino (diagénesis marina)

Vadoso intermareal

Freático submareal

3) Zona de mezclas (ambientes meteórico con marino)

4) Medio profundo (diagénesis por sepultamiento)

Diagénesis meteórica

Representa la alteración que ocurre en o cerca de la superficie en estratos influenciados o preservados por el origen de agua meteórica. El ambiente meteórico se divide en la zona vadosa (no saturada) y la zona freática (saturada) separada por el nivel freático. Las interfaces entre los fluidos superficiales - meteóricos y los estratos rellenos con otros fluidos en su espacio poroso (agua de mar o

sepultamiento) se conoce como la zona de mezclas, la cual presenta especiales características diagenéticas, (Figura 21).

La mayoría de los depósitos de carbonatos de plataforma sufren de diagénesis meteórica debido a los ascensos o descensos del nivel del mar que actúan sobre la plataforma.

El agua meteórica puede circular por debajo de la superficie alterando los depósitos de carbonatos más antiguos a las superficies de exposición. Los procesos meteóricos comúnmente actúan sobre periodos de tiempo de miles a millones de años.

Los patrones diagenéticos meteóricos son complejos y variables debido a:

- 1) Variaciones regionales y temporales en el terreno y superficie en la que actúan.

- 2) Variaciones en los niveles de precipitación pluvial y percolación (permeabilidad roca).

- 3) Variaciones en la química del agua (de lugar a lugar, verticalmente en relación con la columna de agua en el área, y con las interfases mixtas).

- 4) Variaciones en los tiempos de exposición o alteración durante múltiples episodios de exposición.

- 5) Efectos de la vegetación y ácidos derivados de las plantas que varían regionalmente y cambian a través del tiempo geológico como consecuencia de la evolución de diferentes grupos de plantas.



Figura 21.- Ambientes diagenéticos (Longman, M.W, 1981)

Diagénesis marina

La diagénesis sin-sedimentaria en el lecho marino no presenta complicación alguna relativamente, en comparación a la diagénesis meteórica o de sepultamiento. Debido a que esta opera en cortos espacios de tiempo (años a cientos de años) e involucra un rango restringido en la química del espacio poroso.

Sin embargo, la combinación de procesos físicos, químicos, biológicos, así como la entrada constante del agua de mar puede crear en la diagénesis marina un marcado cambio en los sedimentos con una complicada fábrica. Las subsecuentes etapas de alteración diagenética (meteórica o sepultamiento) pueden complicar el reconocimiento de la fábrica por diagénesis marina. Especialmente en los cementos de tipo aragonítico y calcita rica en Mg. En áreas de baja sedimentación (superficies de hiatus, plataformas internas, ambientes profundos) se puede tener una cementación marina (incluyendo hardgrounds) debido a los prolongados periodos de tiempo que se tiene en contacto entre el agua de mar y un delgado paquete de sedimentos. La disolución de granos y matriz son amplias en ciertos ambientes marinos, particularmente en áreas frías y profundas, (Figura 21).

Diagénesis en zona de mezclas

En la zona de mezclas se tiene lugar una mezcla de aguas dulces y marinas, las aguas de mezcla se encuentran supersaturadas para la dolomita y subsaturadas para la calcita, por lo que pueden dolomitizar. En este caso el proceso es mucho

más lento, presentándose la dolomita en cristales de mayor tamaño; euhedrales, más limpios (sin inclusiones) y ordenados, lo que les confiere una mayor resistencia a la dolomitización. La interface agua dulce-salada se desplaza como consecuencia de variaciones en el nivel del mar y pueden generar a su paso cuerpos dolomíticos de mayor importancia. Hacia la parte superior de esta zona se tiene un predominio de disolución sobre precipitación, por lo que, pueden existir abundantes oquedades. En la parte inferior se tiene cementación por calcita magnesiana, (Figura 21).

Diagénesis por sepultamiento

La diagénesis por sepultamiento representa la alteración sucedida por debajo de la zona de circulación del agua marina (zona de mezcla entre las aguas meteóricas y freáticas o la zona activa de circulación del agua marina). Esta juega un papel primordial en la diagénesis de los sedimentos – roca en periodos prolongados geológicamente hablando (millones a miles de millones de años) en términos de cambio en la porosidad y permeabilidad. La zona de diagénesis por sepultamiento está caracterizada por una mezcla de procesos diagenéticos físico-químicos, que en su mayor proporción destruyen la porosidad, pero en algunos casos incrementa los valores de esta. La compactación mecánica está relacionada con rasgos – estructuras de disolución, cubiertas alrededor de nódulos o conchas, deformación frágil de los granos y fracturas, (Figura 21).

5.5.3 Procesos diagenéticos

El propósito de los estudios diagenéticos es la interpretación del origen, tiempo de alteración e identificación de los procesos diagenéticos, de acuerdo al medio ambiente, de manera que los procesos diagenéticos se pueden subdividir en:

- La mezcla de diferentes procesos (disolución, precipitación, recristalización) juntos, permiten identificar y presentar una imagen unificada de las fábricas indicativas de los diferentes estados y ambientes de alteración diagenética.

- Todo esto junto con el estudio petrográfico representan una determinación confiable de la paragénesis (secuencia de eventos diagenéticos) relativos para cada uno de los eventos geológicos externos dentro un sedimento, roca, yacimiento o cuenca (levantamientos, generación de hidrocarburos, etc).
- Los procesos diagenéticos pueden ser subdivididos de acuerdo a su impacto y proceso dentro de la porosidad en:
 - Procesos que destruyen la Porosidad:
 - Compactación física (mecánica)
 - Compactación química (presión-solución)
 - Precipitación de cemento (sílice, carbonatos, sulfatos, arcillas, zeolitas)
 - Procesos que preservan la Porosidad:
 - Desarrollo de cubiertas de granos (clorita, illita, esmectita, arcillas en capa, materia orgánica, hematita, pedernal, carbonato (micrita).
 - Emplazamiento de hidrocarburos.
 - Sobrepresión.
 - Procesos que crean Porosidad:
 - Disolución de granos y/o cemento (calcáreo, sílice, sulfatos), feldespatos, fragmentos líticos, volcánicos, silicios, arcillosos, matriz arcillosa, pedernal, minerales pesados.
 - Dolomitización - disolución.
- Criterios para reconocer la creación de porosidad: Incremento en el tamaño de los poros, disolución parcial de los granos, granos flotando (fantasmas), granos corroídos, aumento en el tamaño de la garganta del poro.

5.6 Análisis de Núcleos

Los núcleos estudiados en este trabajo fueron Huace-1 N2, Papan-1 n1, Papan-11 N1, Papan-13 N1, N2; Papan-73 N1, N2, N3,N4; Papan-92 N1, N2; N3 y Papan-113 N1 con un total de 89 laminas estudiadas al microscopio petrográfico y con el analizador de imágenes. En la Figura 22, se puede observar como la anomalía se extiende desde el pozo Huace-1 hasta el pozo Papan-1, hacia el centro no hay anomalía porque no se tomaron datos sísmicos ya que se encuentra el poblado de Joachin. En el estudio se puede observar que estas arenas productoras tienen los mismos elementos petrográficos. A continuación se presentara estudio de secciones pulidas representativas de núcleos por pozo. Se consultaron datos petrofísicos de estudios existentes.

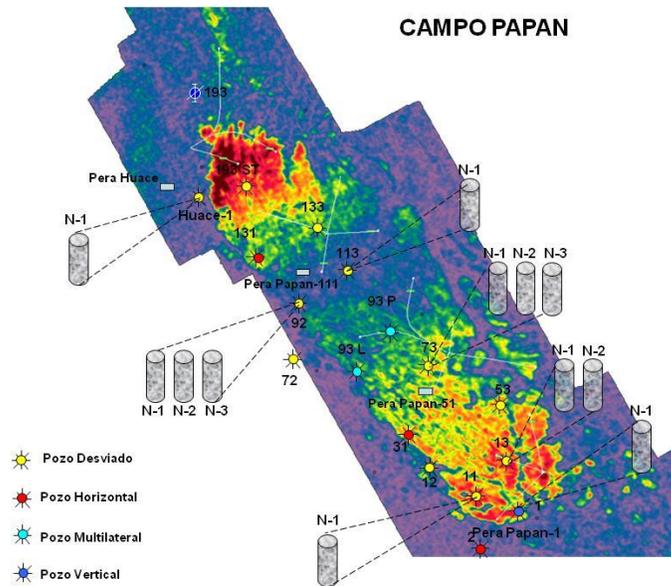


Figura 22.- Distribución de núcleos estudiados en el Campo Papan

En la sección donde se trabajó con el analizador de imágenes se realizaron los siguientes procesos: 1) se obtuvo la imagen de la lamina; 2) se determinó el tamaño de fases minerales presentes; 3) se procesó las fases minerales con respecto a la matriz y/o cementante; 4) se procesó el tamaño de las fases minerales de los carbonatos y de los terrígenos, posteriormente se generaron los histogramas para cada uno de ellos para observar su distribución de tamaño de grano.

Pozo Huace-1-N2

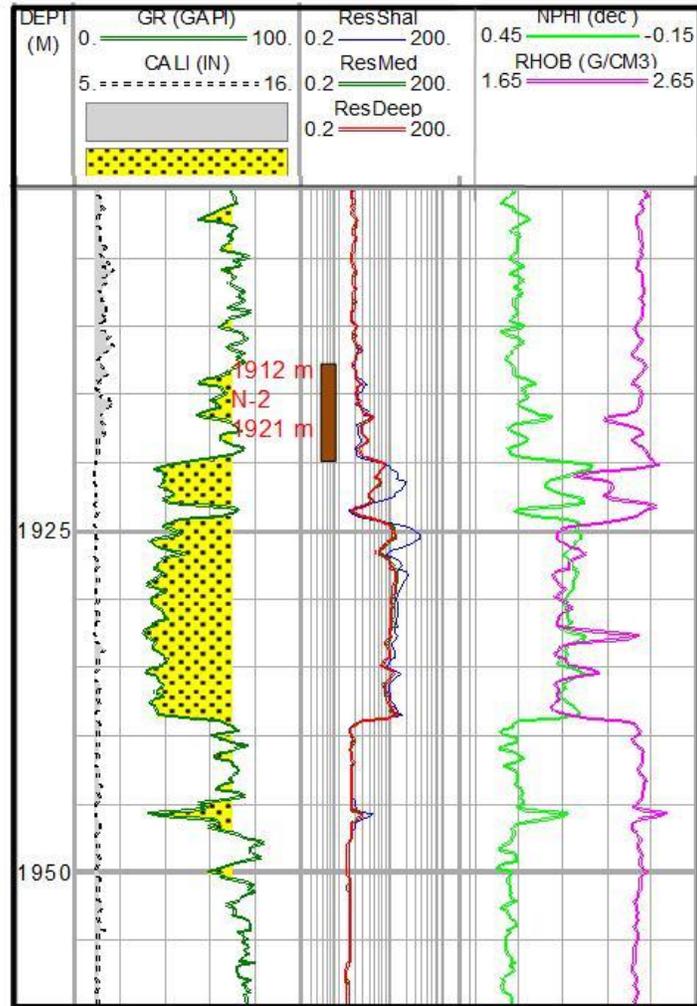


Figura 23.- Registro geofísico del pozo Huace-1 N2 a una profundidad 1912-1921m, se muestran las curvas GR; resistivas y de porosidad

En la curva del GR a la profundidad del N2, se puede observar una secuencia de arenas finas arcillosas con intercalaciones de lutita; bajo este núcleo el registro muestra una secuencia de arenas limpias con buenos espesores, altas resistividades y con buenas porosidades, con atractivo interés petrolero (Figura 23).

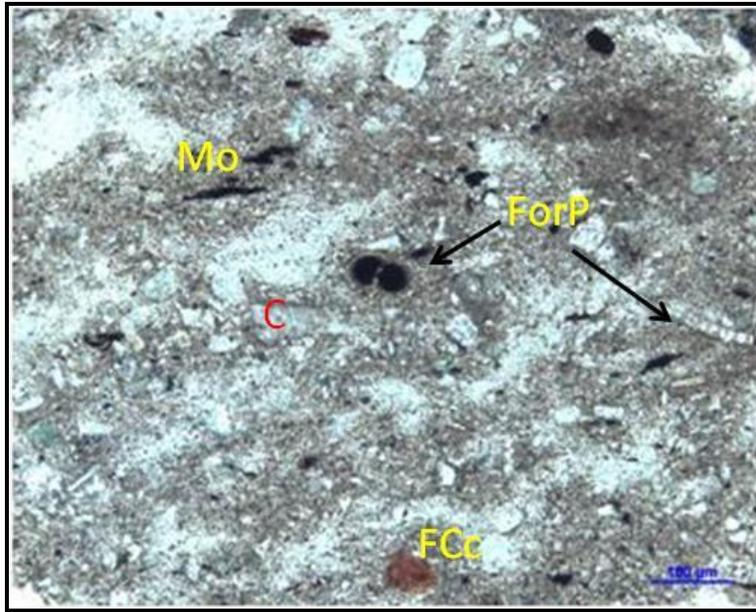


Figura 24.- Profundidad 1914.68m, microfotografía con luz natural muestra una limolita compuesta por fragmentos de cuarzo monocristalino (C), materia orgánica (MO), roca caliza (FCc) y foraminíferos planctónicos (ForP). Sin porosidad aparente.

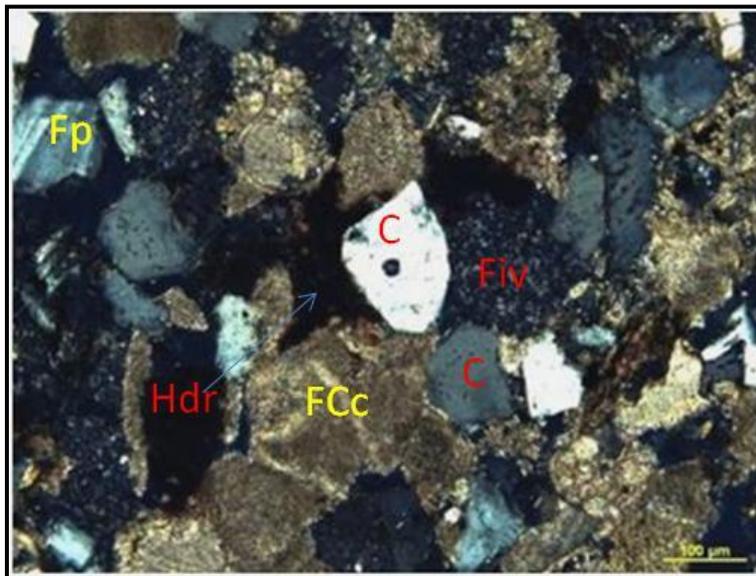


Figura 25.- Profundidad 1920.9m, microfotografía con nicoles cruzados muestra una litarenita compuesta por fragmentos de cuarzo (C), plagioclasa (Fp), roca caliza (FCc), roca ígnea (Fiv) con impregnación de hidrocarburos (Hdr). Los granos son angulosos a subredondeados, los granos están moderadamente seleccionados, con contactos tangenciales, porosidad tipo intergranular. Análisis petrofísicos $\phi=25.4\%$ y $K=199\text{md}$.

Pozo Papan-1-N1

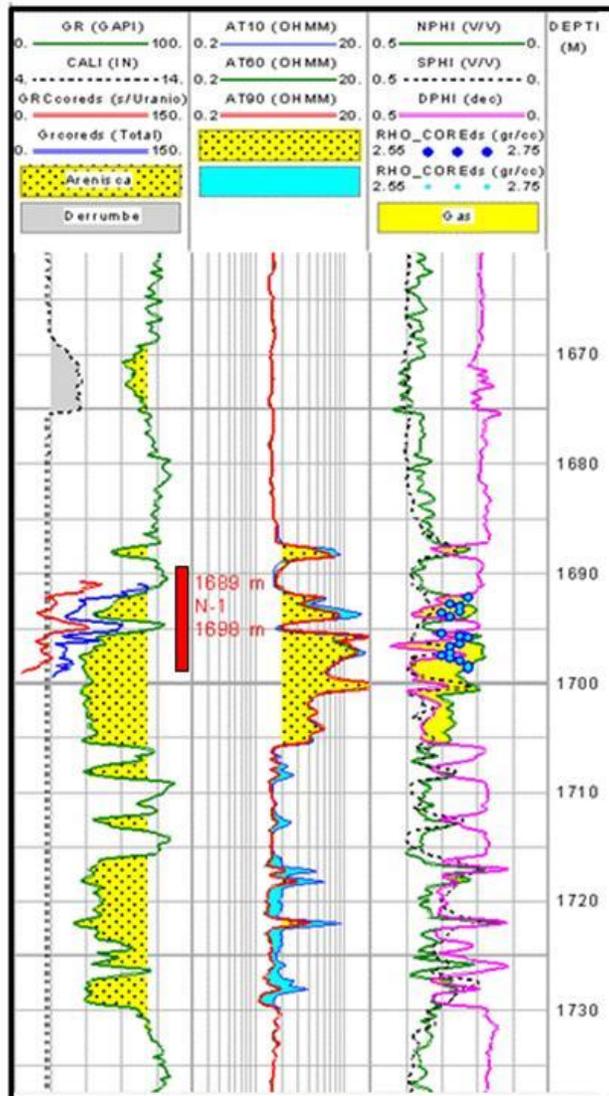


Figura 26.- Registro geofísico del pozo Papan-1 N1 a una profundidad 1689-1698m, se muestran las curvas GR; resistivas y de porosidad.

En la curva del GR a la profundidad del N1, se puede observar una secuencia de arenas granodecrecientes con intercalaciones de lutita, en la parte inferior de este núcleo corta unas arenas limpias de buen espesor, altas resistividades y con buenas porosidades, con atractivo interés petrolero, (Figura 26).

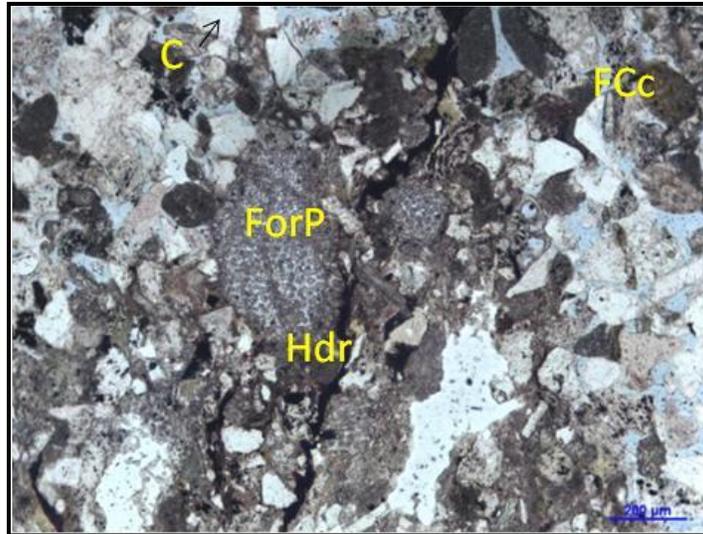


Figura 27.- Profundidad 1689.27m, microfotografía con luz natural muestra una litarenita intercalada en una lutita compuesta por fragmentos de cuarzo monocristalino (C), roca caliza (FCc), foraminíferos planctónicos (ForP) e impregnación de hidrocarburos (Hdr). Los granos son angulosos a subredondeados, los granos están mal seleccionados, con contactos tangenciales. Análisis petrofísicos no se obtuvieron por estar en una zona arcillosa.

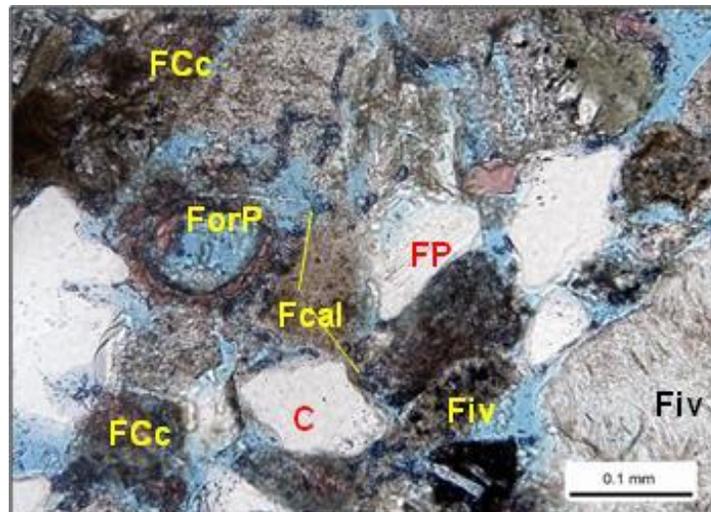
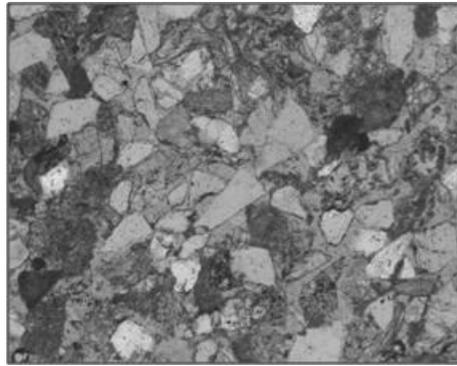
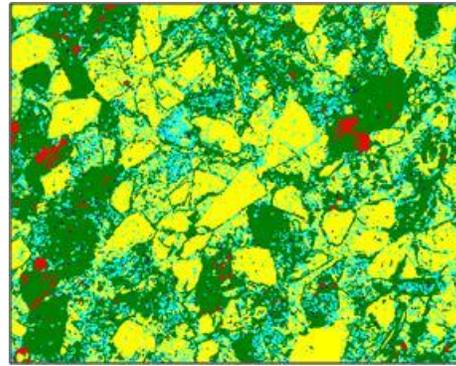


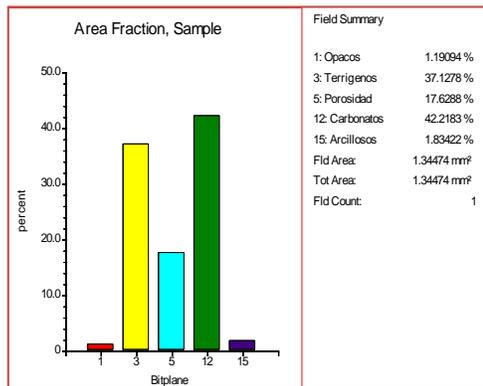
Figura 28.- Profundidad 1690.62m, microfotografía con luz natural muestra una litarenita compuesta por fragmentos de cuarzo (C), plagioclasa (Fp), roca caliza (FCc), roca ígnea (Fiv). Los granos son angulosos a subredondeados, los granos están moderadamente seleccionados, con contactos tangenciales. Con porosidad intergranular. Análisis petrofísicos $\phi=24.5\%$ y $K=166\text{md}$.



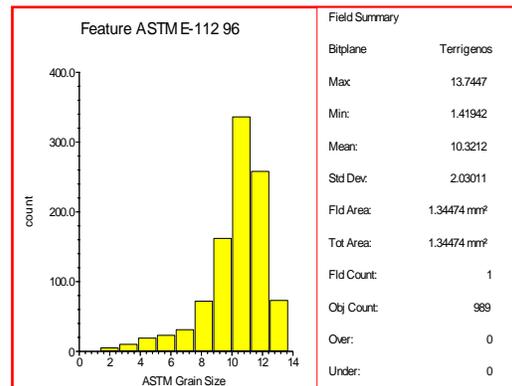
A) Imagen a escala de grises



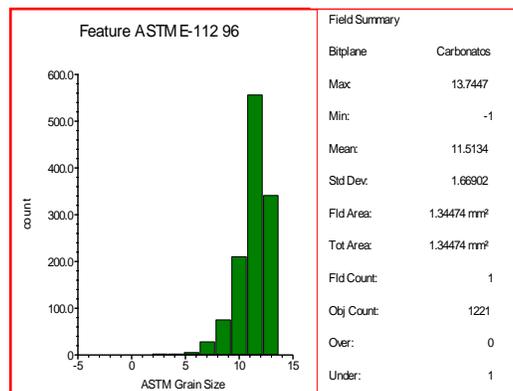
B) Imagen detectada



C) Composición mineralógica



D) Tamaño de grano de terrígenos



E) Tamaño de granos de carbonatos

Figura 29.- Profundidad 1690.62m, imágenes e histogramas de la muestra

Se observa de la imagen C que los mayores componentes de la muestra son los fragmentos de carbonatos (incluyendo rocas calizas y fósiles) en un 42 % y para los terrígenos un 37%, el resto son minerales opacos, arcillosos y espacios vacíos (porosidad 17.9%). De las figuras D y E observamos un tamaño de grano de medio a fino, (Figura 29).

Pozo Papan-11-N1

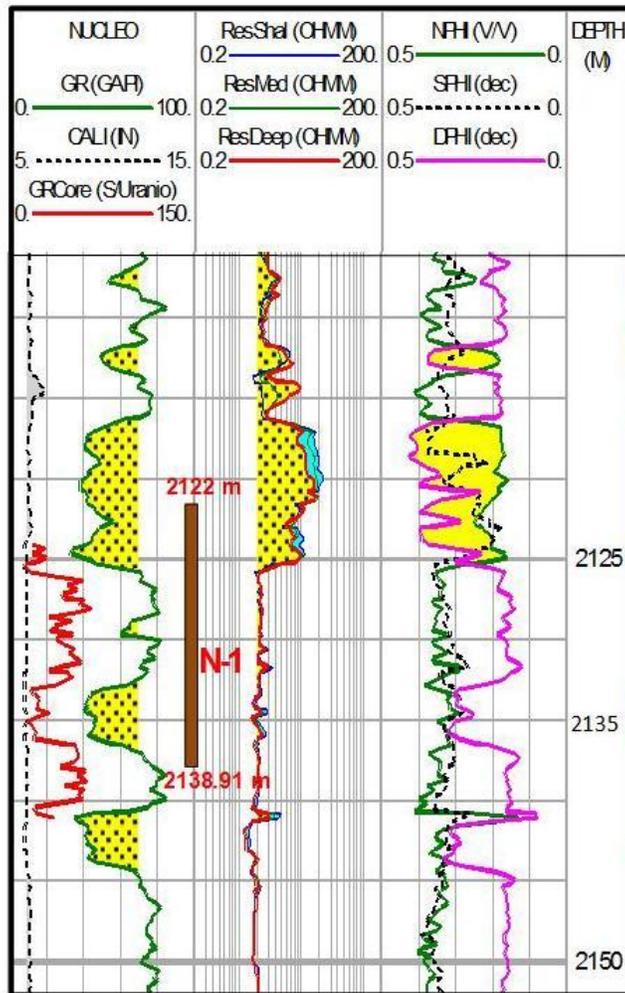


Figura 30.- Registro geofísico del pozo Papan_11 N1 a una profundidad 2122-2138.91m, se muestran las curvas GR; resistivas y de porosidad.

En la curva del GR a la profundidad del N1, se puede observar una secuencia de arenas finas sucias con intercalaciones de lutita, la zona de importancia petrolera es hacia la parte superior e inferior del núcleo 1, (Figura 30).

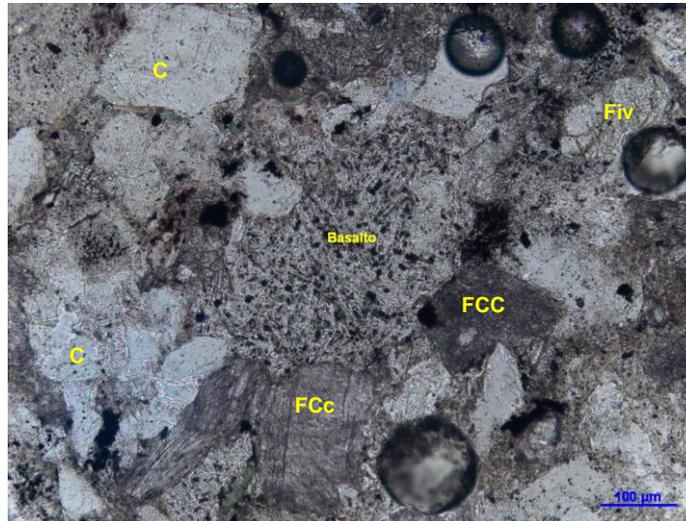


Figura 31.- Profundidad 2127.24m, microfotografía con luz natural muestra una litarenita de grano fino compuesta por fragmentos de cuarzo (C), basalto sin alteraciones, roca caliza (FCc), roca ígnea (Fiv). Los granos son angulosos, están moderadamente a mal seleccionados, con contactos cóncavos-convexos y tangenciales (leve compactación). Con porosidad intergranular. No se realizaron análisis petrofísicos por estar en una zona arcillosa.

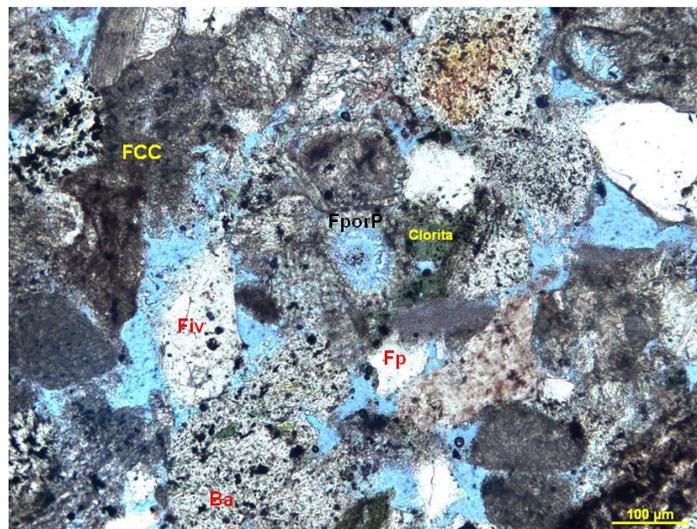
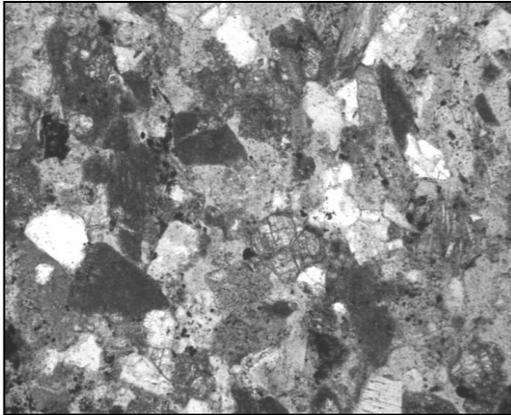
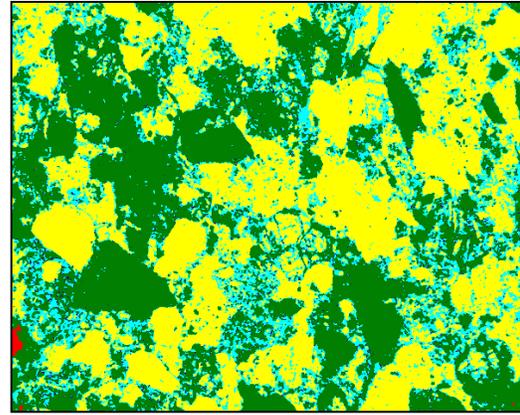


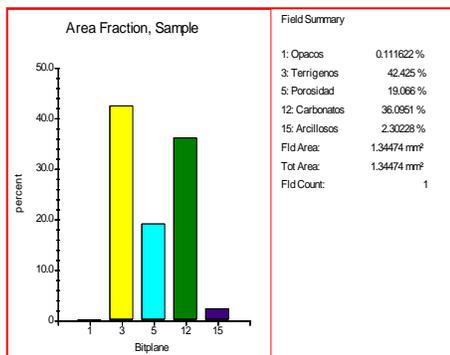
Figura 32.- Profundidad 2132.09m, microfotografía con luz natural muestra una litarenita de grano fino compuesta por fragmentos basalto (Ba) sin alteraciones, roca caliza (FCc), roca ígnea (Fiv), con foraminíferos planctónicos (ForP) y clorita. Los granos son angulosos, están mal seleccionados, con contactos cóncavos-convexos y tangenciales. Con porosidad intergranular e intragranular (se observa en el foraminífero). Análisis petrofísicos $\phi=26.6\%$ y $K=328.3\text{md}$.



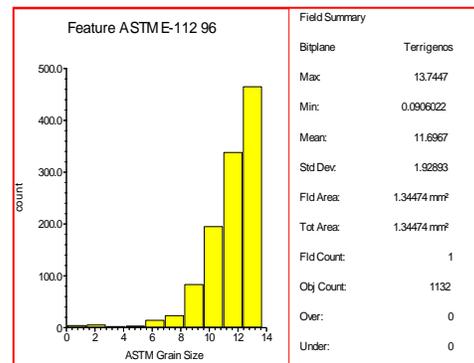
A) Imagen a escala de grises



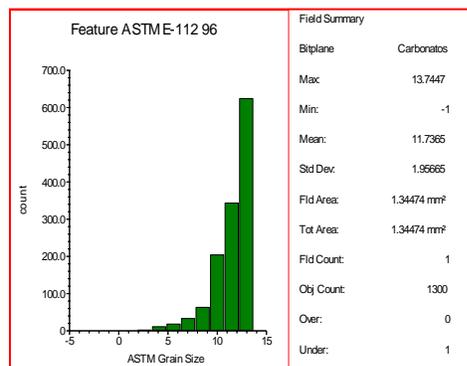
B) Imagen detectada



C) Composición mineralógica



D) Tamaño de grano de terrígenos



E) Tamaño de granos de carbonatos

Figura 33.- Profundidad 2127.24 m, imágenes e histogramas de la muestra

Se observa de la imagen C que los mayores componentes de la muestra son los fragmentos de carbonatos (incluyendo rocas calizas y fósiles) en un 36 % y para los terrígenos un 42.4%, el resto son minerales opacos, arcillosos y espacios vacíos (porosidad 19%). De las figuras D y E observamos un tamaño de grano fino, (Figura 33).

Pozo Papan-13-N1

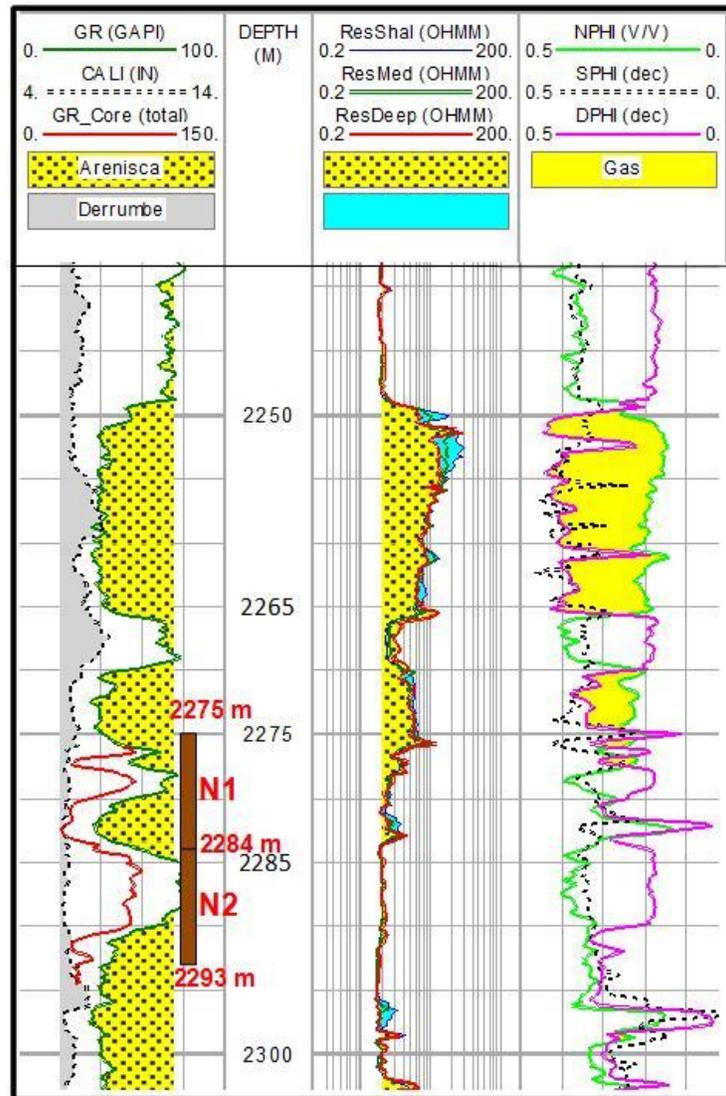


Figura 34.- Registro geofísico del pozo Papan-13 N1 a una profundidad 2275-2284m, se muestran las curvas GR; resistivas y de porosidad.

En la curva del GR a la profundidad del N1, se puede observar un cuerpo de arenas finas, hacia la cima se vuelve arcillosa, en la parte superior de este núcleo hay un cuerpo arenoso de buen espesor, altas resistividades y con buenas porosidades, con atractivo interés petrolero, (Figura 34).

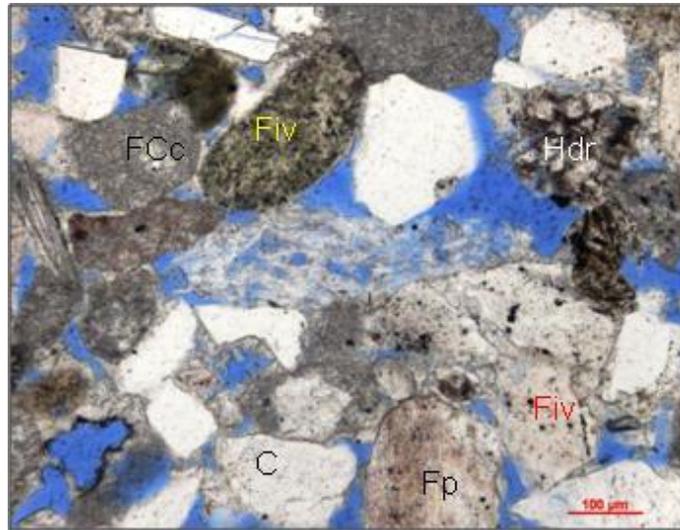


Figura 35.- Profundidad 2279.99m, microfotografía con luz natural muestra una litarenita feldespática de grano fino compuesta por fragmentos cuarzo (c), roca caliza (FCc), roca ígnea (Fiv), plagioclasa (Fp) e impregnación de hidrocarburos (Hdr). Los granos son angulosos a subangulosos, están mal seleccionados, con contactos cóncavos-convexos y tangenciales. Con porosidad intergranular e intragranular. Análisis petrofísicos $\phi=26.4\%$ y $K=403.1\text{md}$.

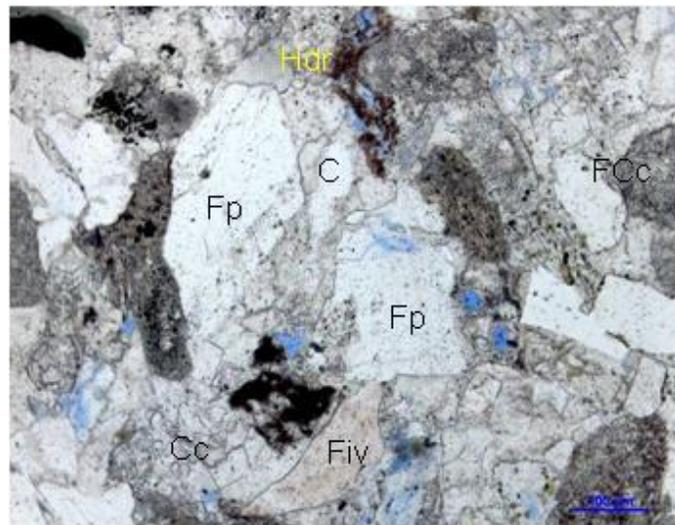
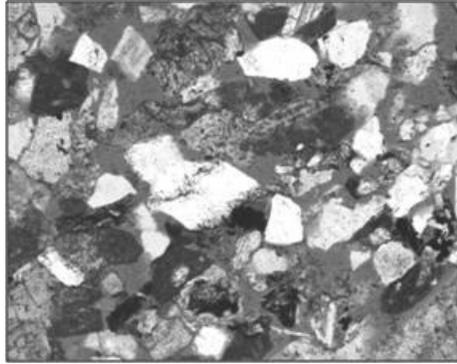
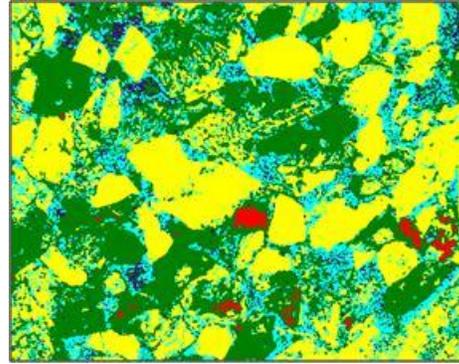


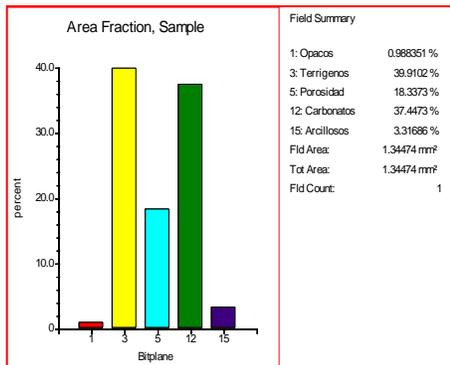
Figura 36.- Profundidad 2280.98m, microfotografía con luz natural muestra una litarenita feldespática de grano fino compuesta por fragmentos cuarzo (c), roca caliza (FCc), roca ígnea (Fiv), plagioclasa (Fp) e impregnación de hidrocarburos (Hdr). Los granos son angulosos a subangulosos, están mal seleccionados, con contactos cóncavos-convexos y tangenciales. Con cemento calcáreo. Con porosidad intergranular e intragranular. Análisis petrofísicos $\phi=5.9\%$ y $K=0.007\text{md}$.



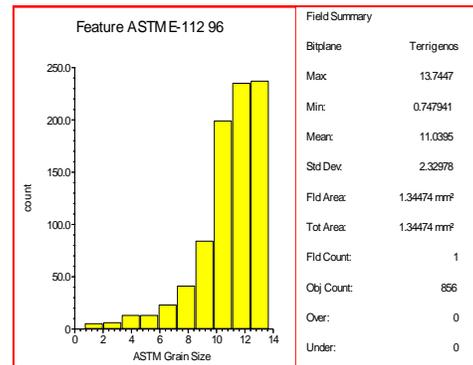
A) Imagen a escala de grises



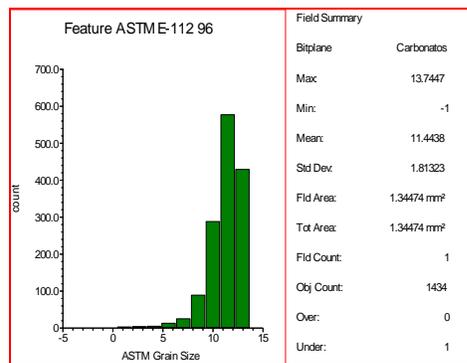
B) Imagen detectada



C) Composición mineralógica



D) Tamaño de grano de terrígenos



E) Tamaño de granos de carbonatos

Figura 37.- Profundidad 2276.24 m, imágenes e histogramas de la muestra

Se observa de la imagen C que los componentes de la muestra son los fragmentos de carbonatos (incluyendo rocas calizas y fósiles) en un 37.4 % y para los terrígenos un 39.9%, el resto son minerales opacos, arcillosos y espacios vacíos (porosidad 18.3%). De las figuras D y E observamos un tamaño de grano fino, (Figura 37).

Pozo Papan-73 N1

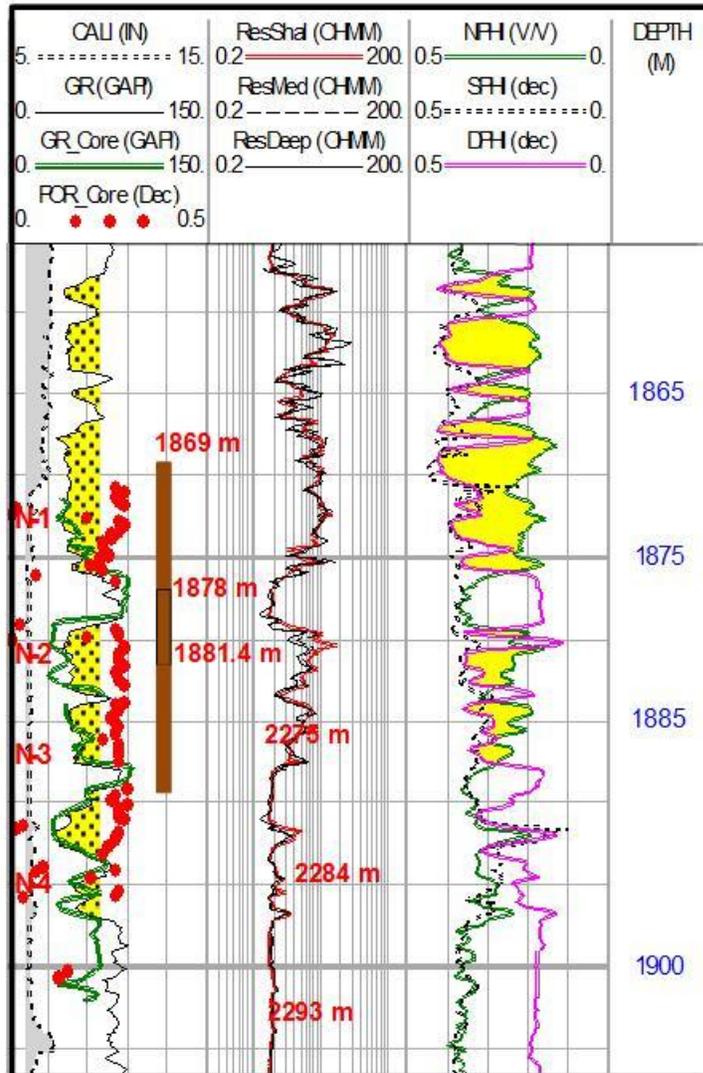


Figura 38.- Registro geofísico del pozo Papan-73 N1 a una profundidad 1869-1878m, se muestran las curvas GR; resistivas y de porosidad.

En la curva del GR a la profundidad del N1, se puede observar un cuerpo de arenas medias, hacia la base se vuelve arcillosa, este núcleo está contenido en un cuerpo arenoso de buen espesor, altas resistividades y con buenas porosidades, con atractivo interés petrolero, (Figura 38).

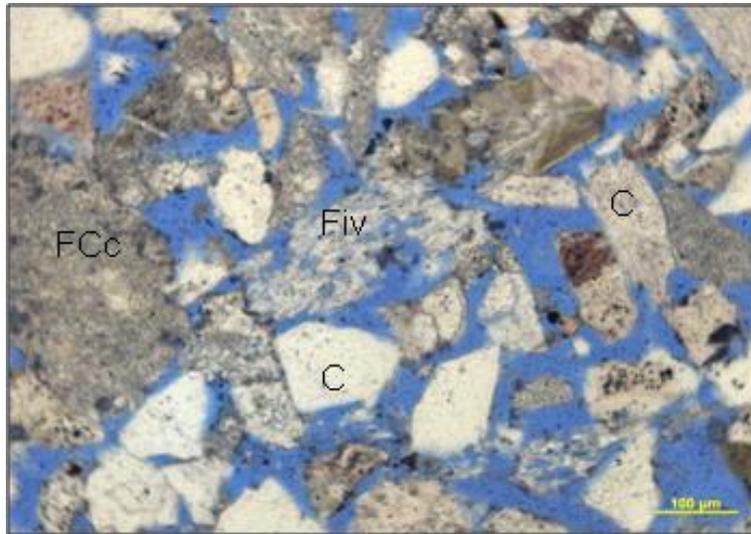


Figura 39.- Profundidad 1870m, microfotografía con luz natural muestra una litarenita de grano fino compuesta por fragmentos cuarzo (c), roca caliza (FCc), roca ígnea (Fiv). Los granos son angulosos a subangulosos, están mal seleccionados, con contactos tangenciales. Con porosidad intergranular e intragranular. Análisis petrofísicos $\phi=29.4\%$ y $K=536.8\text{md}$.

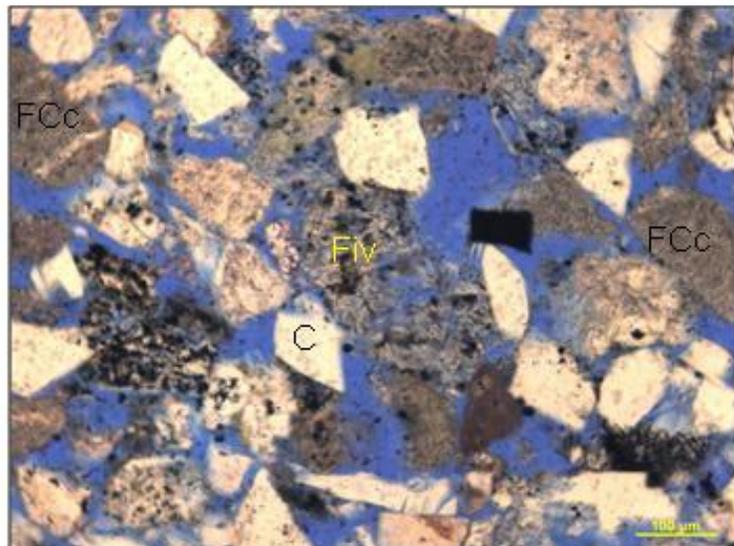
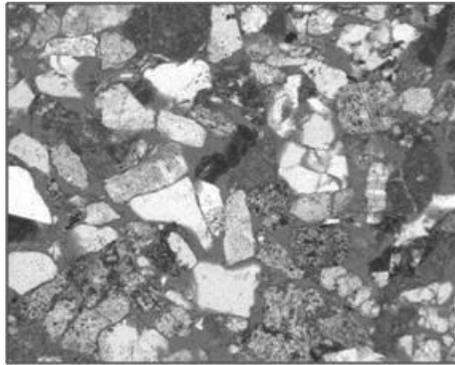
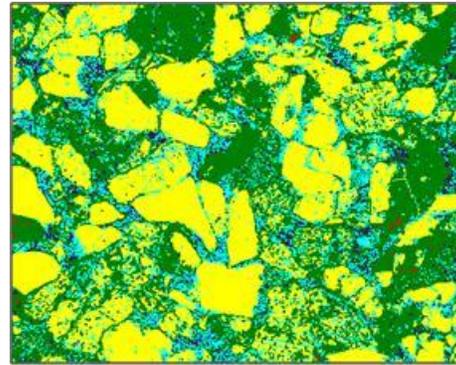


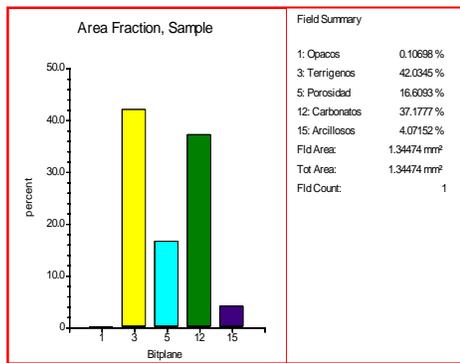
Figura 40.- Profundidad 1873.96m, microfotografía con luz natural muestra una litarenita de grano fino compuesta por fragmentos cuarzo (c), roca caliza (FCc), roca ígnea (Fiv). Los granos son angulosos a subangulosos, están mal seleccionados, con contactos tangenciales y puntuales. Con porosidad intergranular e intragranular. Análisis petrofísicos $\phi=24.4\%$ y $K=289.5\text{md}$.



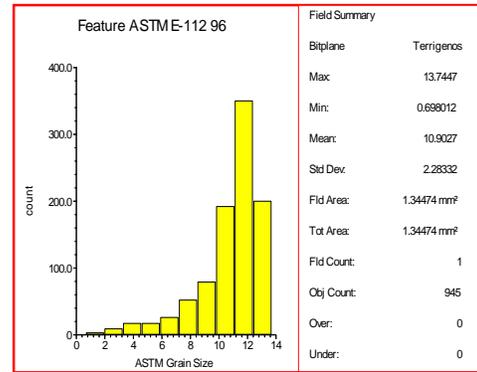
A) Imagen a escala de grises



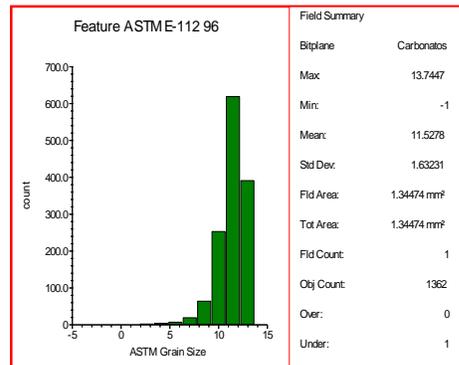
B) Imagen detectada



C) Composición mineralógica



D) Tamaño de grano de terrigenos



E) Tamaño de granos de carbonatos

Figura 41.- Profundidad 1873.96 m, imágenes e histogramas de la muestra

Se observa de la imagen C que los componentes de la muestra son los fragmentos de carbonatos (incluyendo rocas calizas y fósiles) en un 37 % y para los terrígenos un 42%, el resto son minerales opacos, arcillosos y espacios vacíos (porosidad 16%). De las figuras D y E observamos un tamaño de grano fino a medio, (Figura 41).

Pozo Papan-92 N1

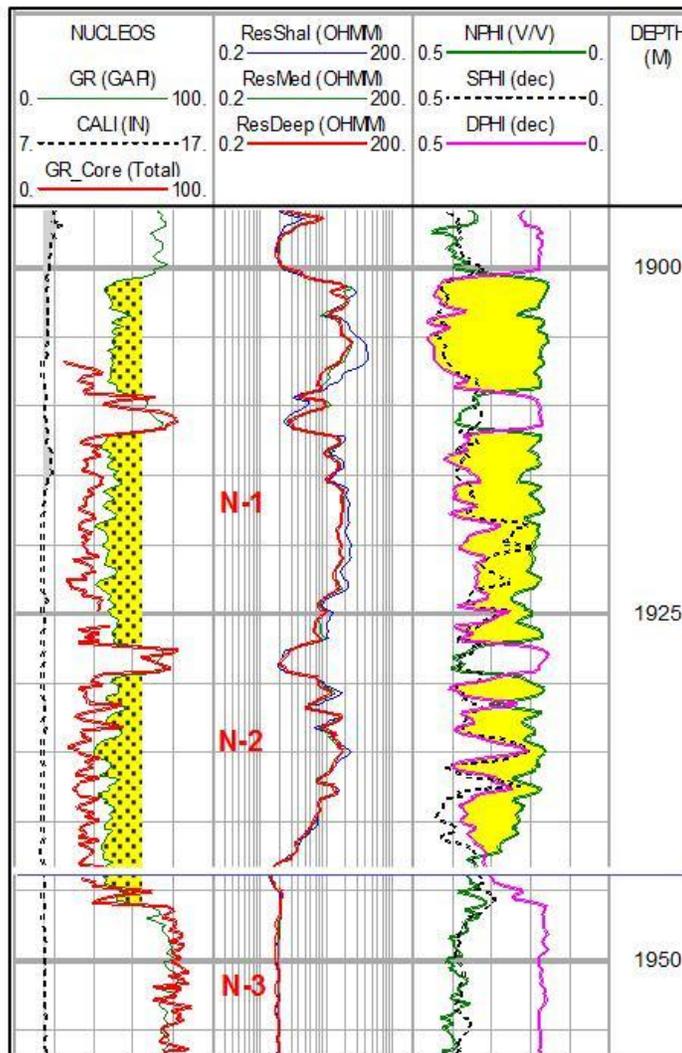


Figura 42.- Registro geofísico del pozo Papan-92 N1 a una profundidad 1907-1925m, se muestran las curvas GR; resistivas y de porosidad.

En la curva del GR a la profundidad del N1, se puede observar un cuerpo de arenas de grano medio, hacia la base y hacia la cima de este cuerpo está limitado por cuerpos de lutitas; los cuerpos contenidos en los núcleos 1 y 2 tienen altas resistividades y con buenas porosidades, con atractivo interés petrolero, (Figura 42).

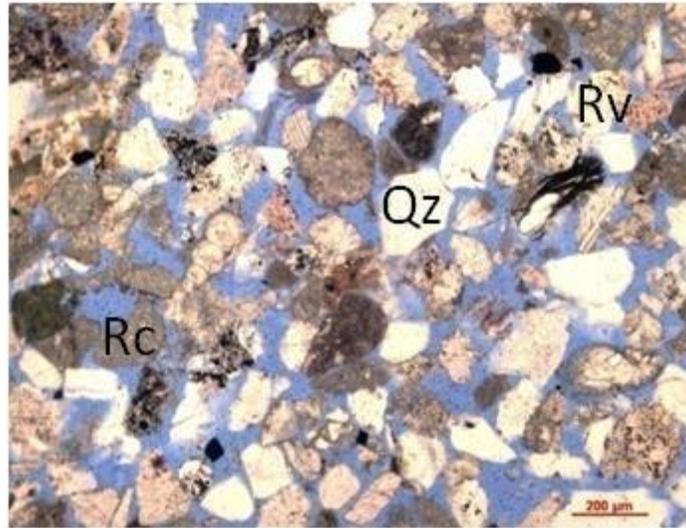


Figura 43.- Profundidad 1907.10m, microfotografía con luz natural muestra una litarenita feldespática de grano fino compuesta por fragmentos cuarzo (Qz), roca caliza (Rc), roca ígnea (Rv). Los granos son angulosos a subangulosos, moderadamente seleccionados, con contactos planares y puntuales. Con porosidad intergranular. Análisis petrofísicos $\phi=29.4\%$ y $K=981.4\text{md}$.

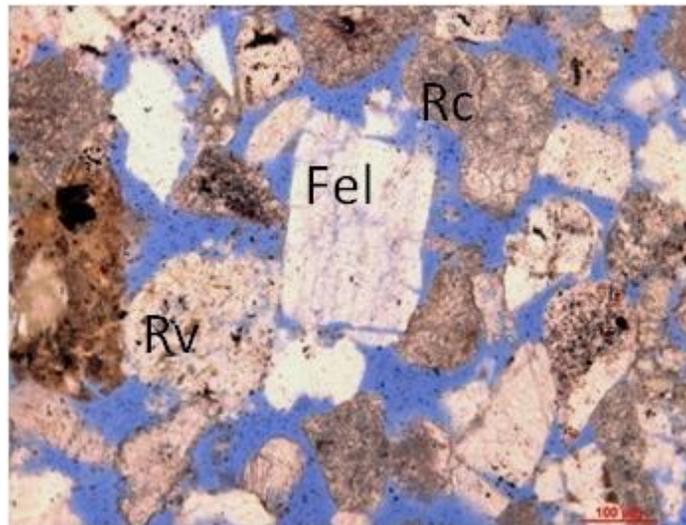
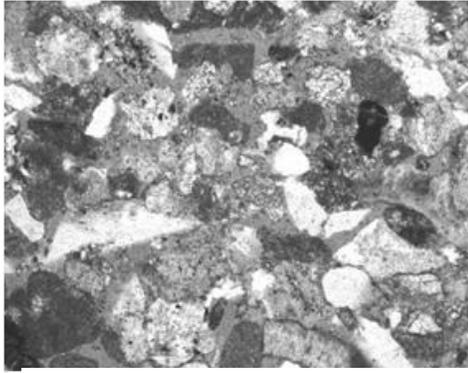
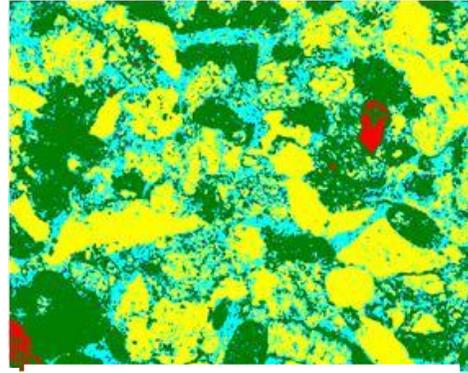


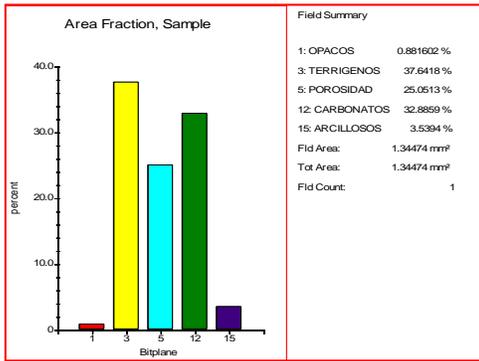
Figura 44.- Profundidad 1909.81m, microfotografía con luz natural muestra una litarenita feldespática de grano fino compuesta por fragmentos roca caliza (Rc), roca ígnea (Rv) y feldespatos (fel). Los granos son angulosos a subangulosos, moderadamente seleccionados, con contactos planares y puntuales. Con porosidad intergranular e intragranular. Análisis petrofísicos $\phi=26.88\%$ y $K=560.6\text{md}$. Detalle de un feldespato sin alterar, la muestra es texturalmente inmadura.



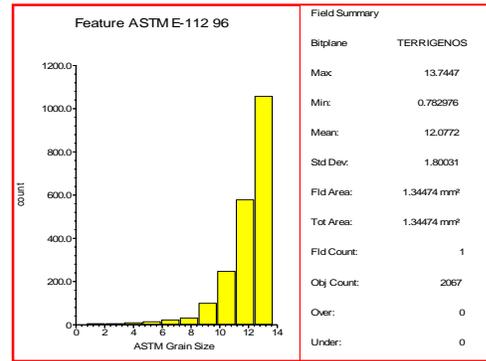
A) Imagen a escala de grises



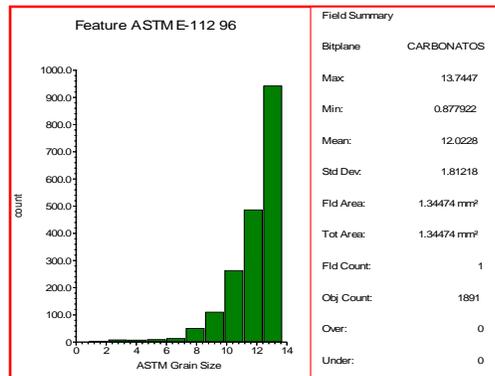
B) Imagen detectada



C) Composición mineralógica



D) Tamaño de grano de terrígenos



E) Tamaño de granos de carbonatos

Figura 45.- Profundidad 1919.25 m, imágenes e histogramas de la muestra

Se observa de la imagen C que los componentes de la muestra son los fragmentos de carbonatos (incluyendo rocas calizas y fósiles) en un 32 % y para los terrígenos un 37.6%, el resto son minerales opacos, arcillosos y espacios vacíos (porosidad 25%). De las figuras D y E observamos un tamaño de grano fino a medio, (Figura 45).

Pozo Papan-113 N1

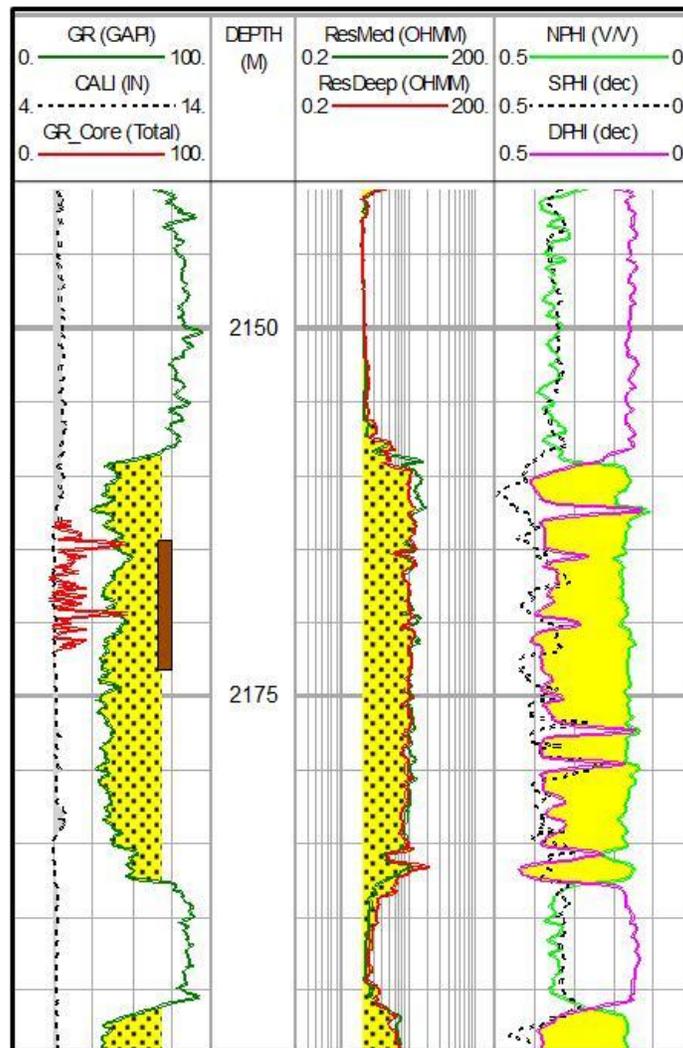


Figura 46.- Registro geofísico del pozo Papan-113 N1 a una profundidad 2163-2172m, se muestran las curvas GR; resistivas y de porosidad.

En la curva del GR a la profundidad del N1, se puede observar un cuerpo de arenas de grano medio, este núcleo está contenido en un cuerpo arenoso de buen espesor, altas resistividades y con buenas porosidades, con atractivo interés petrolero, (Figura 46).

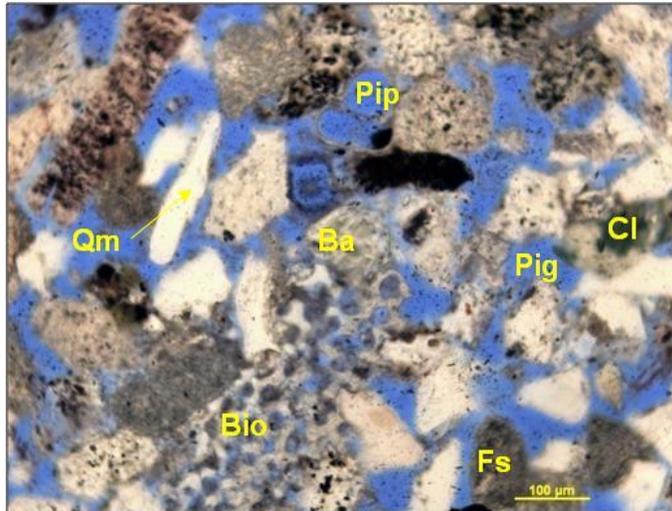


Figura 47.- Profundidad 2163.43, microfotografía con luz natural muestra una litarenita feldespatica de grano fino, moderadamente clasificada, detritos subangulosos a subredondeados, compuesto por cuarzo monocristalino (Qm), fragmentos de rocas sedimentarias (Fs), fragmentos de biógenos (Bio), con trazas de clorita (Cl), se observaron fragmentos de rocas volcánicas y cristales conservados en los basaltos (Ba) que indican que no hubo mucho transporte, con buena porosidad intergranular (Pig) e intragranular (Pip). Análisis petrofísicos $\phi=28\%$ y $K=233.1\text{md}$.

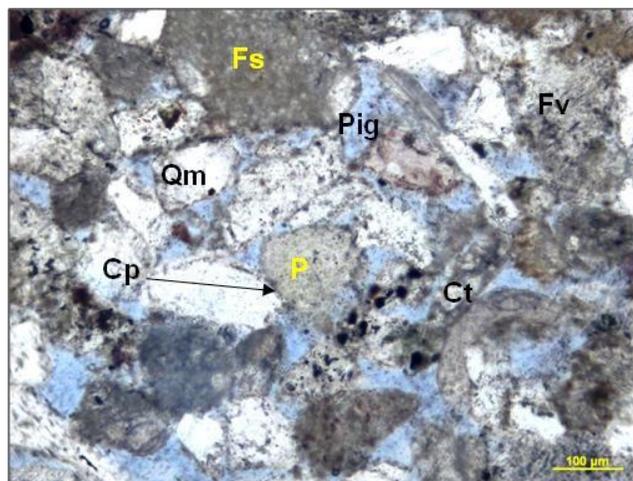
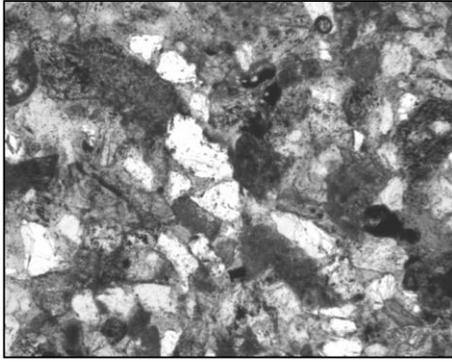
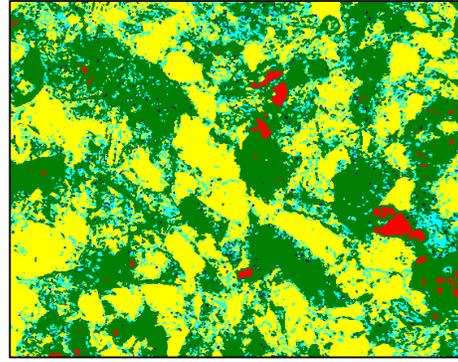


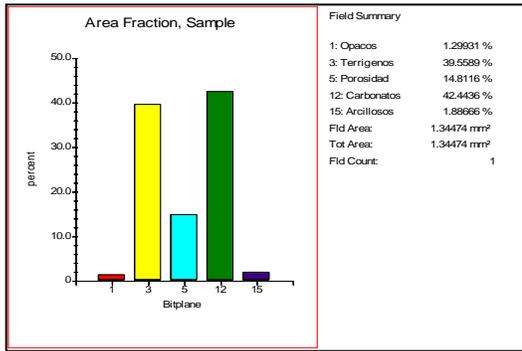
Figura 48.- Profundidad 2166.33m, litarenita de grano fino, moderadamente clasificada, detritos subangulosos a subredondeados, compuesto por cuarzo monocristalino (Qm), fragmentos de rocas sedimentarias (Fs), fragmentos de rocas volcánicas (Fv), con porosidad intergranular (Pig), se observa una incipiente compactación con contactos tangenciales (Ct), buena porosidad intergranular. No se realizaron análisis petrofísicos.



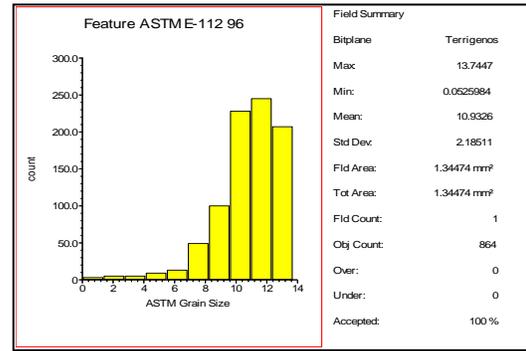
A) Imagen a escala de grises



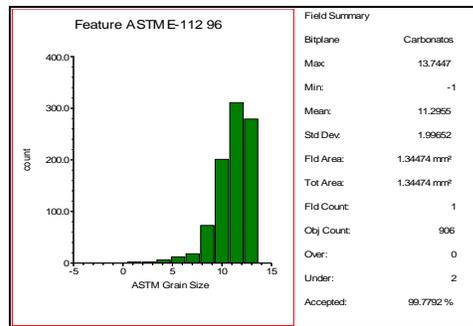
B) Imagen detectada



C) Composición mineralógica



E) Tamaño de granos de carbonatos



D) Tamaño de grano de terrígenos

Figura 49.- Profundidad 2166.33 m, imágenes e histogramas de la muestra

Se observa de la imagen C que los componentes de la muestra son los fragmentos de carbonatos (incluyendo rocas calizas y fósiles) en un 42.4 % y para los terrígenos un 39.5%, el resto son minerales opacos, arcillosos y espacios vacios (porosidad 14.8%). De las figuras D y E observamos un tamaño de grano fino a medio, (Figura 49).

5.7 Secuencia Paragenética

Dentro de todos los procesos diagenéticos vistos en las 82 secciones delgadas estudiadas al microscopio se determinó en la siguiente Figura 50.

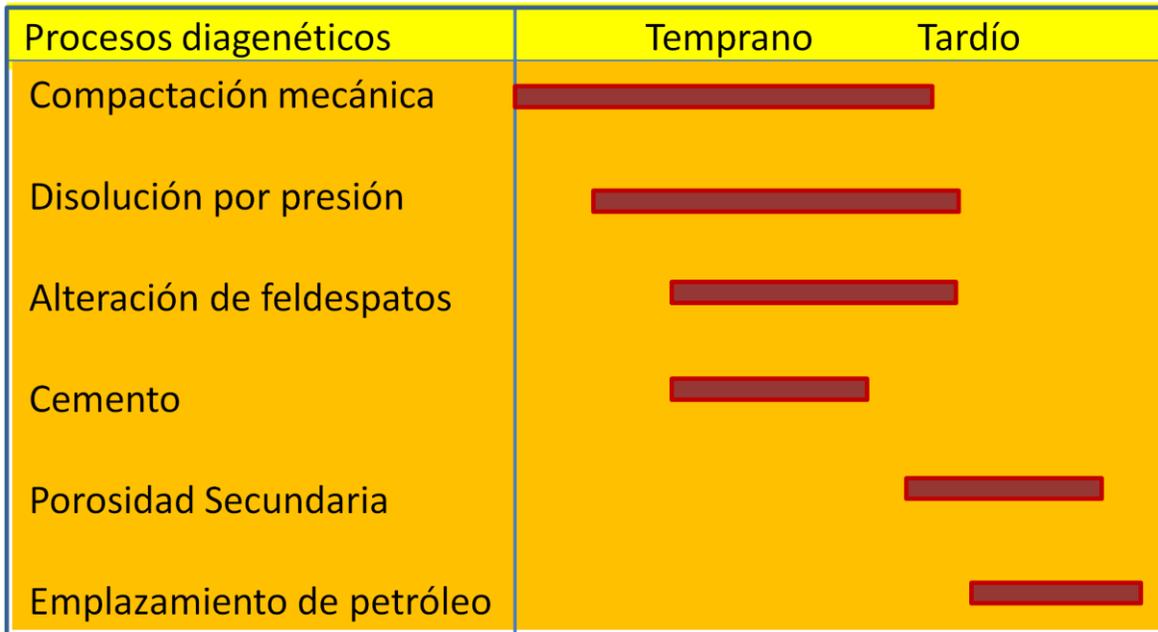


Figura 50.- Secuencia paragenética del campo Papan

6. SISTEMA PETROLERO

La prospección Geoquímica en la cuenca de Veracruz inicia con los primeros estudios realizados en 1982. Diferentes períodos de avance y entendimiento de la geoquímica orgánica de la cuenca puede ilustrarse, de 1982-1990 con la evaluación geoquímica de la columna sedimentaria y determinación de las rocas con potencial productor (riqueza, calidad y madurez); posteriormente de 1993-1997 la caracterización de subsistemas productores; y de 1997-2004, la caracterización de la roca, líquidos y gases. El entendimiento del tipo de fluido y su relación genética ha aportado un mejor entendimiento del proceso referente al suministro y carga, permitiéndonos inferir las posibles fuentes, así como, los principales medios en que se transportan, contribuyendo a mejorar la evaluación al riesgo exploratorio.

El sistema petrolero se analizó con una valiosa y extensa base de datos de la cuenca de Veracruz (Figura 51), como apoyo para la evaluación de los subsistemas generadores, permitiendo un amplio estudio de la trampa, roca generadora y roca sello, como principal sistema petrolero dentro de la cuenca.

| Periodo | Age | Litología | Roca Gen. | Yacimiento | Sistema Petrolero |
|-----------|-----------------------------|-----------|-----------|------------|---|
| Terciario | NEOGENE | | | | Mioceno – Meándricos Canales(!) |
| | PALEOGENE | | | | Mioceno – Abanicos de piso de cuenca y canales(!) |
| | PALEOGENE OLIG. MIOCENE PL. | | | | Paleógeno - Abanicos de piso de cuenca con múltiples canales(.) |
| Cretácico | Sup. | | | | Cretácico Superior - Brechas (.) |
| | Medio | | | | Cretácico Inferior - Medio Orizaba (!) |
| | Inf. | | | | Jurásico Depósitos de Talud(!) |
| Jurásico | Sup. | | | | Jurásico – Brechas (!) |

Figura 51.- Columna tipo indicando las principales rocas generadoras y tipos de kerógeno del sistema petrolero en la cuenca de Veracruz.

6.1 Geoquímica

Las rocas generadoras marinas profundas pueden estar presentes al este de la plataforma de Córdoba, en la porción oriente y terrestre de la cuenca de Veracruz. La parte central de la cuenca contiene principalmente sedimentos de plataforma depositados durante el Mesozoico, con delgados estratos de rocas generadoras del Jurásico, el gas natural de la cuenca de Veracruz se interpreta de origen bacterial, termal y una mezcla de ambos orígenes (Holguín et al., 1995).

El gas de origen bacterial (biogénico) se encuentra solo en yacimientos del Terciario y principalmente hacia la parte sur de la cuenca. Sin embargo también pueden contener gas de origen termal (Holguín et al., 1995). La mezcla de gases y el gas termogénico en yacimientos del Terciario, indican la migración hacia arriba de hidrocarburos del Mesozoico probablemente por los conductos que generan las fallas profundas (Guzmán-Vega y Mello 1999).

Todos los aceites fueron derivados de rocas generadoras carbonatadas. La composición de isótopos saturados y aromáticos sugiere que el aceite proviene de rocas generadoras marinas.

6.2 Roca Generadora

Se consideran cinco principales unidades de roca generadora para la cuenca de Veracruz como se muestra en la Tabla-3.

| Formación | Edad | TOC % | S ₂ mg/g | Tipo de Kerogeno | |
|--------------------|------------------------|-----------|---------------------|----------------------------|-------------------------|
| Tepexilota | Tithoniano | 2 | 5 | II marino-algaceo (Aceite) | Carbonatos |
| Orizaba | Aptiano a Cenomaniano | 1.4 a 6.4 | > 5.0 | II marino-algaceo (Aceite) | Carbonatos |
| Maltrata | Turoniano | > 2.0 | 5 | II marino-algaceo (Aceite) | Carbonatos arcillosos |
| Guzmàntla | Turoniano a Campaniano | 1.0 | 8.5 | II marino-algaceo (Aceite) | Carbonatos evaporíticos |
| Mendez / Atoyac | Maestrichtiano | 2.8 | - | II marino-algaceo (Aceite) | Carbonatos |
| La Laja / Depòsito | Oligoceno / Mioceno | > 2.0 | < 1 | III (Gas) | Arcillas |

Tabla 3.- Elementos que caracterizan las principales unidades de roca generadora en la cuenca de Veracruz.

6.3 Roca almacén y sello

En la Figura 52 se observan las unidades de roca almacén en el Terciario, incluyendo areniscas y conglomerados de las formaciones Encanto y Depósito de edad Mioceno Medio y la Formación La Laja de edad Mioceno Inferior (Cruz Helú et al., 1977). Las unidades principales del cinturón plegado Mesozoico, por debajo de la cuenca occidental de Veracruz, incluyen a las formaciones Méndez/Atoyac del Cretácico Superior, la formación carbonatada del Cretácico Superior Guzmantla y las dolomías del Cretácico Medio de la Formación Orizaba. Los vórgulos y depósitos de brechas son importantes para el mejor desarrollo de porosidad, mientras que es común encontrar que el fracturamiento eleva el potencial productor en estas rocas almacén. La roca sello está formada de rocas carbonatadas compactas y capas arcillosas interestratificadas.

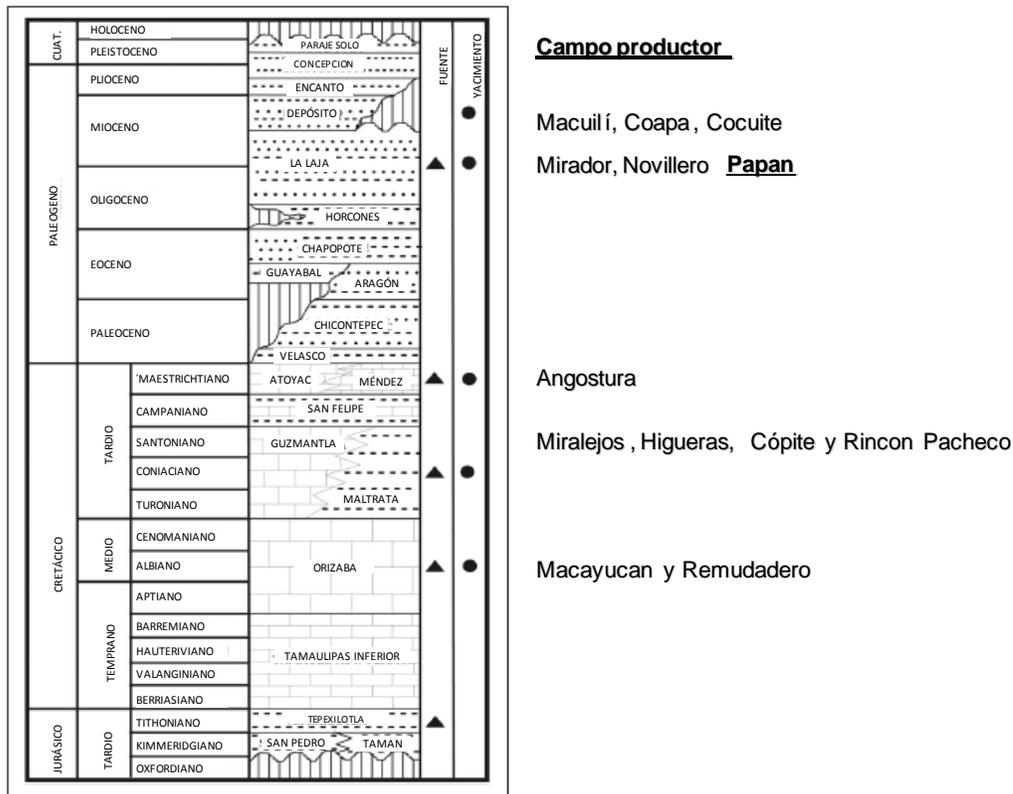


Figura 52.- Columna estratigráfica de la cuenca de Veracruz, indicando las unidades de roca generadora y de roca almacén, incluyendo los principales campos productores.

6.4 Generación y Migración

El modelado de la sección estratigráfica en el centro de la cuenca (Figura 53), sugiere que la generación y migración de hidrocarburos líquidos pudo haber comenzado alrededor de los 92 Ma, con la Formación Tepexilotla, continuando en la actualidad con la Formación Méndez; la generación de gas en la Formación Orizaba pudo comenzar a los 48 Ma, en la Formación Maltrata a los 40 Ma y en la Guzmantla, alrededor de los 35 Ma; la Formación Méndez comenzó a generar y continúa generando hidrocarburos líquidos actualmente. El gas biogénico es probable que se este generando actualmente. La mayoría de los yacimientos en la parte occidental son someros y en la actualidad están dentro de la ventana de preservación al igual que los yacimientos del Terciario.

El gas biogénico generado en intervalos ricos en materia orgánica del Terciario no requiere modelado, ya que, éstos no requieren sepultamiento profundo ni maduración. Es probable que este gas este evolucionando en el presente.

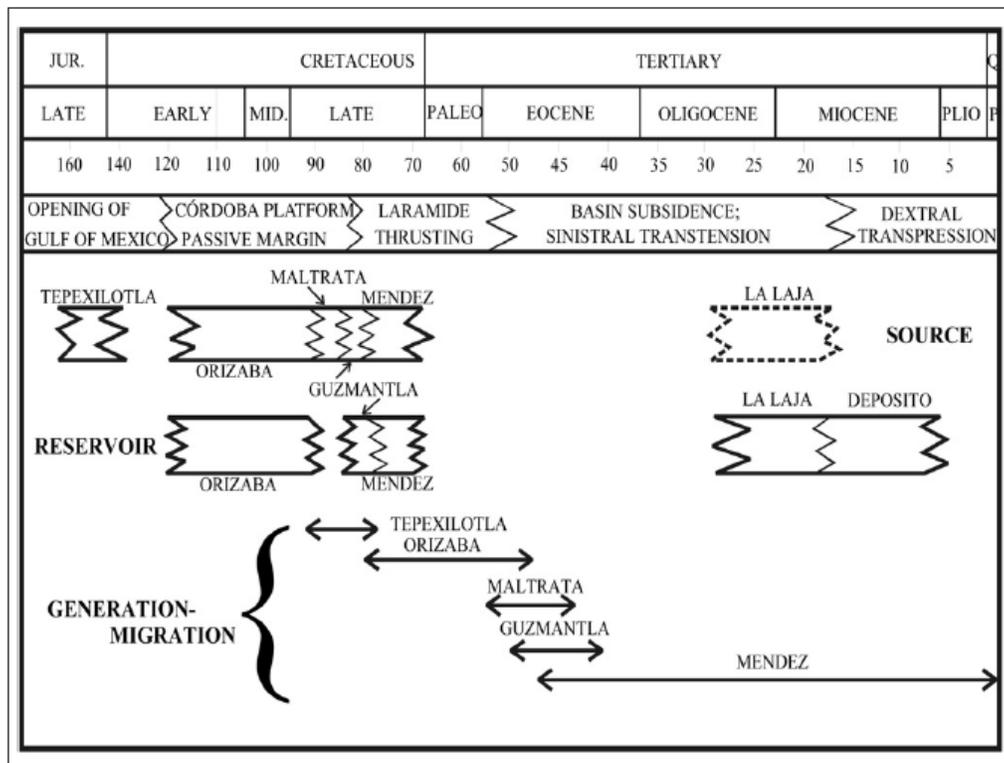


Figura 53.- Carta de eventos del sistema petrolero, Cuenca Central Veracruz.

7. CONCLUSIONES

- 1) El analizador de imágenes es una herramienta valiosa para una primera aproximación de tamaño de grano y clasificación petrográfica. De acuerdo al análisis de la información de los datos de petrografía, la clasificación textural de las areniscas del campo Papan, corresponden a litarenitas y litarenitas feldespáticas texturalmente inmaduras, similares a los otros campos correspondientes al LS_MS_6.9 m.a. (Límite de Secuencia Mioceno Superior 6.9 millones de años), que además contienen otros componentes líticos que corresponden a fragmentos de rocas sedimentarias y algunos además presentan rocas volcánicas.
- 2) Los fragmentos de las rocas volcánicas basálticas son angulosos y sin alteración alguna. Los fragmentos de roca calcárea son subredondeados y los fósiles presentan con poco retrabajo. La fuente de aporte de los líticos volcánicos tiene su influencia del vulcanismo de Anegada y los Tuxtlas.
- 3) Las arcillas más comunes identificadas son illita y capas mezcladas con illita-esmectita, probablemente derivadas de la alteración de cenizas volcánicas. Esta mineralogía es consistente en las 82 laminas estudiadas, distribuidas arealmente en el campo Papan.
- 4) La diagénesis es muy incipiente o nula en los estratos sedimentarios que comprenden al yacimiento; el cementante en algunas muestras es calcáreo y dentro de la alteración mineralógica se identificó clorita y sericita así como sobre cremientos sintaxiales de cuarzo.
- 5) La principal porosidad del campo Papan es primaria, cuyo rango aproximado varía entre 20 a 30 %. Por otro lado, en el límite de secuencia LS_MS-6.98 se encuentran los campos Playuela, Vistoso, Apertura, Cocuite y también el Papan, que por sus características petrográficas texturales y de depósitos paleo sedimentarios (v.g.,canales meándricos y abanicos de piso de cuenca), es una excelente unidad estratigráfica productora de HC's dentro de la Cuenca de Veracruz.



Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

| Grain Size No. G | \bar{N}_A Grains/Unit Area | | \bar{A} Average Grain Area | | \bar{D} Average Diameter | | \bar{T} Mean Intercept | | \bar{N}_L No./mm |
|---------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|----------------------------|-------|--------------------------|-------|-----------------------|
| | No./in. ² at 100X | No./mm ² at 1X | mm ² | μm ² | mm | μm | mm | μm | |
| 00 | 0.25 | 3.88 | 0.2581 | 258064 | 0.5080 | 508.0 | 0.4525 | 452.5 | 2.21 |
| 0 | 0.50 | 7.75 | 0.1290 | 129032 | 0.3592 | 359.2 | 0.3200 | 320.0 | 3.12 |
| 0.5 | 0.71 | 10.96 | 0.0912 | 91239 | 0.3021 | 302.1 | 0.2691 | 269.1 | 3.72 |
| 1.0 | 1.00 | 15.50 | 0.0645 | 64516 | 0.2540 | 254.0 | 0.2263 | 226.3 | 4.42 |
| 1.5 | 1.41 | 21.92 | 0.0456 | 45620 | 0.2136 | 213.6 | 0.1903 | 190.3 | 5.26 |
| 2.0 | 2.00 | 31.00 | 0.0323 | 32258 | 0.1796 | 179.6 | 0.1600 | 160.0 | 6.25 |
| 2.5 | 2.83 | 43.84 | 0.0228 | 22810 | 0.1510 | 151.0 | 0.1345 | 134.5 | 7.43 |
| 3.0 | 4.00 | 62.00 | 0.0161 | 16129 | 0.1270 | 127.0 | 0.1131 | 113.1 | 8.84 |
| 3.5 | 5.66 | 87.68 | 0.0114 | 11405 | 0.1068 | 106.8 | 0.0951 | 95.1 | 10.51 |
| 4.0 | 8.00 | 124.00 | 0.00806 | 8065 | 0.0898 | 89.8 | 0.0800 | 80.0 | 12.50 |
| 4.5 | 11.31 | 175.36 | 0.00570 | 5703 | 0.0755 | 75.5 | 0.0673 | 67.3 | 14.87 |
| 5.0 | 16.00 | 248.00 | 0.00403 | 4032 | 0.0635 | 63.5 | 0.0566 | 56.6 | 17.68 |
| 5.5 | 22.63 | 350.73 | 0.00285 | 2851 | 0.0534 | 53.4 | 0.0476 | 47.6 | 21.02 |
| 6.0 | 32.00 | 496.00 | 0.00202 | 2016 | 0.0449 | 44.9 | 0.0400 | 40.0 | 25.00 |
| 6.5 | 45.25 | 701.45 | 0.00143 | 1426 | 0.0378 | 37.8 | 0.0336 | 33.6 | 29.73 |
| 7.0 | 64.00 | 992.00 | 0.00101 | 1008 | 0.0318 | 31.8 | 0.0283 | 28.3 | 35.36 |
| 7.5 | 90.51 | 1402.9 | 0.00071 | 713 | 0.0267 | 26.7 | 0.0238 | 23.8 | 42.04 |
| 8.0 | 128.00 | 1984.0 | 0.00050 | 504 | 0.0225 | 22.5 | 0.0200 | 20.0 | 50.00 |
| 8.5 | 181.02 | 2805.8 | 0.00036 | 356 | 0.0189 | 18.9 | 0.0168 | 16.8 | 59.46 |
| 9.0 | 256.00 | 3968.0 | 0.00025 | 252 | 0.0159 | 15.9 | 0.0141 | 14.1 | 70.71 |
| 9.5 | 362.04 | 5611.6 | 0.00018 | 178 | 0.0133 | 13.3 | 0.0119 | 11.9 | 84.09 |
| 10.0 | 512.00 | 7936.0 | 0.00013 | 126 | 0.0112 | 11.2 | 0.0100 | 10.0 | 100.0 |
| 10.5 | 724.08 | 11223.2 | 0.000089 | 89.1 | 0.0094 | 9.4 | 0.0084 | 8.4 | 118.9 |
| 11.0 | 1024.00 | 15872.0 | 0.000063 | 63.0 | 0.0079 | 7.9 | 0.0071 | 7.1 | 141.4 |
| 11.5 | 1448.15 | 22446.4 | 0.000045 | 44.6 | 0.0067 | 6.7 | 0.0060 | 6.0 | 168.2 |
| 12.0 | 2048.00 | 31744.1 | 0.000032 | 31.5 | 0.0056 | 5.6 | 0.0050 | 5.0 | 200.0 |
| 12.5 | 2896.31 | 44892.9 | 0.000022 | 22.3 | 0.0047 | 4.7 | 0.0042 | 4.2 | 237.8 |
| 13.0 | 4096.00 | 63488.1 | 0.000016 | 15.8 | 0.0040 | 4.0 | 0.0035 | 3.5 | 282.8 |
| 13.5 | 5792.62 | 89785.8 | 0.000011 | 11.1 | 0.0033 | 3.3 | 0.0030 | 3.0 | 336.4 |
| 14.0 | 8192.00 | 126976.3 | 0.000008 | 7.9 | 0.0028 | 2.8 | 0.0025 | 2.5 | 400.0 |

8.-ANEXOS

Anexo.-1 Tabla de datos de tamaño de grano por la norma ASTM y su equivalencia en mm y micras.

8. BIBLIOGRAFÍA

Cantagrel, J.M., Robin, C., 1979, K–Ar dating on Eastern Mexican Volcanic Rocks–relations between the andesitic and the alkaline provinces, *Journal of volcanology and geothermal research*, 5, 99–114.

Cruz-Helú , P., V. R. Verdugo, and P. R. Bárcenas, 1977, Origin and distribution of Tertiary conglomerates, Veracruz Basin, México: *AAPG Bulletin*, v. 61, no. 2, p. 207– 226.

Dickinson, W.R. i Valloni, R., 1980, Plate settings and provenance of sands in modern ocean basins. *Geology* 8, 82-86.

Dickinson, W.R., 1985, Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones, in Zuffa, G.G., ed., *Provenance of arenites: Series C: Mathematical and Physical Science* vol. 148, p. 333-361.

Dutton, Shirley P., Jennette, David C., Ambrose, William A., and Martinez, Martin, Petrography and reservoir quality of Terciary deepwater sandstones in the Veracruz Basin, Mexico, *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, Vol, 52. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* Vol. 52 (2002), p. 229-240.

Ferrari L., and Rosas-Elguera, J., 1999. Alkalic (OIB type) and calc-alkalic volcanism in the Mexican Volcanic Belt: a case for plume-related magmatism and propagating rifting at an active margin, *Comment* to the article by Marquez, A., Oyarzun, R., Doblas, M., Verma, S. P., *Geology*, **27**, 1055-1056.

Ferrari L., Lopez-Martinez M., Aguirre-Diaz G. and Carrasco-Nuñez G., 1999. Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *Geology*, **27**, 303-306.

Folk, R.L. 1951 b. Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *J. Sediment. Petrol.*,21: 127-130

Folk, R.L., 1974, *Petrology of sedimentary rocks*. Hempill Pub. Co., Austin, Texas, p. 82

Guzmán-Vega, M.A., and M.R. Mello, 1999, Origin of oil in the south east basin, México *AAPG Bulletin* v. 83,p. 1068-1095

Holguin Quiñones, N., 1985, Evaluación geoquímica del sureste de México: *Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros Boletín*, v.37, no. 1, p. 3-48

Holguin, N., F. Galindo, E. Serrano, A. Romero, A. Sosa, G. Martinez, R. Roman, 1995, The HC generative subsystems of productive Mexican basins: Fourth

Brazilian Geophysical Society International Congress/First Latin American Geophysical Union Conference, Rio de Janeiro, Brazil, Expanded Abstracts, v. 1, p. 73-75.

Holtz, M.H, J. García, S. Sakurai, T.F. Wawrzyniec, D.C. Jennette, and J.J. Bolaños, 2002, Production and pressure characteristics of gas reservoirs, Veracruz Basin, Mexico, Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, Vol, 52.

Jacobo-Albarra'n, J., 1997. Studio geologico e petrologico del complesso vulcanico di Los Tuxtlas, Stato di Veracruz, Messico. Ph.D Thesis, Universita degli Studi di Pisa Italy. p. 147.

Jennette-Wawrzyniec; David Jennette, Tim Wawrzyniec, Khaled Fouad, Dallas B. Dunlap, Javier Meneses-Rocha, Francisco Grimaldo, Rafael Muñoz, David Barrera, Carlos T. Williams-Rojas and Arturo Escamilla-Herrera et al., 2003, Traps and turbidite reservoir characteristics from a complex and evolving tectonic setting, Veracruz Basin, southeastern Mexico: AAPG Bulletin, v. 87, no. 10 (October 2003), pp. 1599–1622.

Krumbein W.C. and L.L.Sloss, Stratigraphy and sedimentation, 2nd edition (Freeman, San Francisco, 1963).

Longman, M.W., 1980 Carbonate diagenetic texture from nearsurface diagenetic environments AAPG bulletin, v. 64, p. 461-487

Moore, G.W, and del Castillo, G,L, 1974, Tectonic evolution of the Southern Gulf of Mexico: Geol. Soc, Am, Bull.v. 85, p 607.

Moore, C.H.,1989, Carbonate diagenesis and porosity. Developments in Sedimentology, 46. Elsevier: 338 p.

Norma ASTM E-112 página internet

Pettijohn, F.J.; Potter, P.E., and Siever, R., 1972, Sand and sandstone: Springer-Verlag, New York, 618 p.

Pindell, J. L. and Dewey, J.F., 1982, Permo Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region: Tectonics, v. 1, p.179-211.

Pindell, J.L., 1994, Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean: in Donovan S.K. and Jackson, T. A. (eds.) Caribbean Geology: an introduction, University of the West Indies Publishers Association/University of the West Indies Press, Kingston, Jamaica, p. 13-39

Pindell, J., 2002. Análisis paleogeográfico Mesozoico – Cenozoico y dinámica de cuencas en el Golfo de México profundo y márgenes: la relación entre evolución tectono-sedimentaria y sistemas petroleros, Tectonic Analysis, Inc.

Philip Ringrose, Kjetil Nordahl and Renjun Wen, 2005, Vertical permeability estimation in heterolithic tidal deltaic sandstones, *Petroleum Geoscience*, Vol. 11, pp. 29–36.

Prost, G., and M. Aranda, 2001, Tectonics and hydrocarbon systems of the Veracruz Basin, Mexico, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and A. Cantú-Chapa, eds., *The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basins, and petroleum systems: AAPG Memoir 75*, p. 271-291.

Sánchez-Zavala J.L., Centeno-García, E., 2000, Técnicas y aplicaciones del estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: procedencia y tectónica. Instituto de geología

Suarez, G., 2000, Reverse faulting in the Isthmus of Tehuantepec; backarc deformation induced by the subduction of the Tehuantepec Ridge, in H. Delgado-Granados, G. J. Aguirre-Diaz, and J. M. Stock, eds., *Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico: Geological Society of America Special Paper 334*, p. 263–268.

Wentworth, C.K., 1922, A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.