

LICENCIATURA EN GEOLOGÍA
TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Título: Caracterización y estudio en laboratorio, desde el punto de vista no convencional, de la heterogeneidad geológica de la formación Palermo Aike y equivalentes de superficie, Cuenca Austral-Magallanes, Provincia de Santa Cruz, Argentina.

Autor: Barrera, Daniel Enrique.

Director: Lic. Noya, Martín Claudio. Profesor Adjunto de la Cátedra de Geología de Combustibles, FCNyM - UNLP.

Tecnólogo, Laboratorio de Sedimentología y Petrografía, Y-TEC S.A.

Codirector: Lic. Grasetti Palacio, Carlos Gabriel. JTP Cátedra Geología, UNAJ. Tecnólogo, Laboratorio de Sedimentología y Petrografía, Y-TEC S.A.

Lugar de trabajo: Y-TEC (YPF Tecnología S.A.).

AGRADECIMIENTOS

A mis directores, Martín y Gabriel, por todo su apoyo, buena predisposición y tiempo dedicado durante el desarrollo y la realización de este trabajo.

A Y-TEC S.A. por brindarme el espacio, el equipamiento, y el tiempo para la realización del trabajo.

A la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP; y a todos/as quienes de diversas maneras contribuyeron en llevar a cabo este proyecto.

RESUMEN

En el ámbito de la provincia de Santa Cruz, dentro del área de estudio, las pelitas depositadas a partir de eventos transgresivos ocurridos desde el oeste - sudoeste hacia el este - noreste de la cuenca durante el cretácico, están representadas por arcillitas, limoarcillitas, areniscas, margas y calcáreos, entre otros; agrupadas bajo diferentes denominaciones como miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike en subsuelo; y formación Río Mayer en afloramiento, las cuales se disponen sobre la formación Springhill, siendo el miembro Inferior y la sección basal del miembro Medio de la formación Palermo Aike (Valanginiano - Aptiano), donde está localizada la principal roca generadora de la Cuenca Austral.

El desarrollo y explotación de los *Shale Gas/Oil plays* a nivel mundial es relativamente reciente, comenzando principalmente en los Estados Unidos en la década de 1980. En función de los resultados obtenidos, se estimuló el estudio y evaluación de otros *shales* en distintas partes del mundo. Argentina es uno de los países con mayor potencial de recursos no convencionales del mundo, con un estado muy avanzado en la curva de aprendizaje de la formación Vaca Muerta. Fuera de Cuenca Neuquina, la formación Palermo Aike, principal roca generadora de la Cuenca Austral, se ha transformado en los últimos años en una unidad que alberga un gran potencial como reservorio no convencional, y además constituye un gran desafío por su gran extensión areal y su complejidad logística. El análisis, estudio y caracterización de este tipo de reservorios necesita la interacción de varias disciplinas vinculadas a las geociencias como ser geología, geomecánica y geoquímica.

El presente trabajo tiene como objetivo general familiarizarse con las metodologías de caracterización geológica de subsuelo típicas de un laboratorio, comparar los datos de subsuelo con su equivalente de afloramiento, la formación Río Mayer, y a su vez realizar analogías con otros *shales* más estudiados de EEUU.

Se compararon diferentes parámetros de importancia a la hora de evaluar la calidad de un reservorio no convencional como lo son la edad, extensión areal, profundidad de la unidad, espesor, madurez térmica, contenido orgánico total, tipo de querógeno y mineralogía, entre otros.

El grado de analogía que se logre establecer entre la formación Palermo Aike y los *shale plays* más desarrollados, es una manera de evaluar el potencial de la unidad y, a su vez, simplificar las tareas durante el estudio y optimizar la curva de aprendizaje en el desarrollo de esta formación como un reservorio no convencional.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
MARCO GEOLÓGICO	4
SISTEMA PETROLERO	8
METODOLOGÍA.....	10
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	11
GEOLOGÍA	12
GEOQUÍMICA	22
GEOQUÍMICA ORGÁNICA	24
GEOQUÍMICA INORGÁNICA	29
GEOMECÁNICA.....	32
Comparaciones entre afloramiento (Fm. Río Mayer) y subsuelo (Fm. Palermo Aike):	35
CONSIDERACIONES FINALES	38

INTRODUCCIÓN

La formación Palermo Aike (y su equivalente en afloramiento, la formación Río Mayer) es una unidad litoestratigráfica de origen marino que se desarrolla en la Cuenca Austral-Magallanes, en una gran extensión del subsuelo del sur de la Patagonia. Corresponde a las facies distales de un sistema transgresivo desarrollado con rumbo SO-NE asociado a una etapa de post-rift o sag (subsistencia termal) de la cuenca durante el Cretácico Inferior (Valanginiano-Aptiano).

Esta etapa de sag fue precedida por una etapa de subsidencia mecánica o rift y continuada por una etapa de subsidencia por carga tectónica o de antepaís.

La mencionada formación está compuesta por tres miembros y se reconocen en ella tres asociaciones de facies que representan diferentes paleoambientes sedimentarios: asociación marina profunda, asociación marina profunda influenciada por un sistema deltaico y una asociación de facies de prodelta (Richiano et. al, 2012).

Esta unidad estratigráfica está constituida por pelitas marinas, en parte con participación calcárea, cuyo contenido orgánico es variable en los distintos ámbitos de la cuenca. Presenta un COT promedio entre 0,5% y 2%; y querógeno tipo II a II - III. Su espesor neto varía entre 50 - 300 metros y su profundidad entre los 2500 y 4000 metros desde superficie.

Tomando en consideración la gran extensión areal y espesor de esta formación, y que es además la principal roca madre de la Cuenca Austral, en los últimos años se ha comenzado a evaluar su importancia como recurso no convencional, a partir de la realización de nuevos estudios y perforaciones, y, del aprovechamiento de los conocimientos adquiridos y las tecnologías desarrolladas por la explotación de la formación Vaca Muerta en la Cuenca Neuquina. En ese sentido, la caracterización geológica es la primera consideración técnica a establecer para continuar luego con la evaluación de otros parámetros necesarios para considerarla de interés económico.

OBJETIVOS

Los objetivos principales del presente TFL son:

- Familiarizarse con las metodologías de caracterización geológica de subsuelo en laboratorio y utilizarlas para caracterizar un potencial reservorio no convencional como lo es la formación Palermo Aike.
- Entender cómo se analizan los datos obtenidos a partir de recortes de perforación en laboratorio.
- Integrar la información y compararla con su equivalente en afloramiento (formación Río Mayer).
- Intentar realizar analogías con reservorios no convencionales productivos de EEUU.

MARCO GEOLÓGICO

La Cuenca Austral-Magallanes se ubica entre el Orógeno Andino y la Plataforma Oriental (Macizo del Deseado), constituida por un basamento metamórfico paleozoico y volcánico de edad jurásica. La historia geológica de dicha cuenca, en el área de estudio, se caracteriza por tres etapas tectónicas principales (Biddle et al., 1986; Rodríguez y Miller, 2005; Varela et al., 2012), una etapa de rift, una etapa de subsidencia térmica y, finalmente, una etapa de antepaís. (Figura 1).

Durante la etapa de rift se desarrollaron grabenes y hemigrabenes con rocas volcánicas y volcánicas intercaladas con algunos sedimentos epiclásticos (Biddle et al. 1986). En la etapa de subsidencia térmica (Berriasiano a Albiano), la actividad tectónica cesó y se depositó la sucesión transgresiva marina continental a somera de la formación Springhill, la cual está cubierta por una sucesión marina de fangolitas negras alternadas con lutitas y margas de la Formación Río Mayer (en afloramiento), que se extiende hasta el Albiano (Richiano, 2012; Richiano et al., 2012). Hacia el final de esta etapa (principios del Aptiano y Albiano), se desarrolló en los sectores norte y este de la cuenca un gran sistema deltaico de margen pasivo, registrado en la formación Piedra Clavada. (Poiré et al., 2017).

La Formación Río Mayer en la estratigrafía del subsuelo coincide parcialmente con la Formación Palermo Aike Inferior y Medio.

En la localidad Seccional Río Guanaco, la Formación Río Mayer se dividió en tres secciones informales desde un punto de vista sedimentológico (Richiano et al. 2012). La sección inferior (Berriasiano temprano-Valanginiano temprano) está compuesta por lutitas negras laminadas con niveles de margas intercalados. Los valores de COT de esta sección van de 0.07 y 2.81% (Richiano, 2014).

La sección central (Valanginiano- Hauteriviano) tiene un espesor de 40 metros y está compuesta por fangolitas negras intensamente bioturbadas y fangolitas silicoclásticas. En esta sección, los valores de COT son de 0.07 a 0.58% (Richiano, 2014).

Finalmente, la sección superior (Hauteriviano-Albiano) alcanza los 150 a 200 metros de espesor, y se caracteriza por fangolitas negras con intercalaciones de arena de grano muy fino a grano fino y conglomerados menos frecuentes. Los niveles de areniscas generalmente tienen entre 0,05 y 0,5 metros de espesor, masivo o laminado, y ocasionalmente con laminación entrecruzada (Richiano et al. 2012). La intercalación de arenisca en la parte superior de la unidad está relacionada con la influencia de un sistema deltaico registrado en la Formación Piedra Clavada (Richiano et al. 2012). Los valores de COT de esta sección oscilan entre 0,67 y 1,81% en el inicio, y valores muy bajos hacia la parte superior (Richiano, 2014).

En el subsuelo, la Formación Río Mayer corresponde a los miembros Inferior y Medio de la formación Palermo Aike (Figura 3), y constituye la principal roca madre de la Cuenca Austral; con un espesor que varía entre 180 y 340 metros (promedio de 250 m) depositada en un intervalo de tiempo de alrededor de 20 millones de años. Los miembros Inferior y Medio de la formación Palermo Aike tienen valores de COT entre 0,5 y 3%; mientras que los tipos de querógenos varían de II, II / III a III (Belotti et al., 2013).

Por encima de ella, y en transición fue depositada una sucesión de arcillitas calcáreas correspondientes a la sección media del miembro Medio de la Fm. Palermo Aike, que tiene un comportamiento de sello regional y no es roca generadora. La sección superior del miembro Medio fue depositada en un ambiente deltaico distal y presenta materia orgánica leñosa. Esta última tiene potencial como generadora de gas, la cual se correlacionaría con el sistema deltaico de la formación Piedra Clavada.

Según estos autores, las ventanas de madurez térmica a tiempo presente, para los miembros Inferior y Medio de la formación Palermo Aike, están representados en la Figura 4.

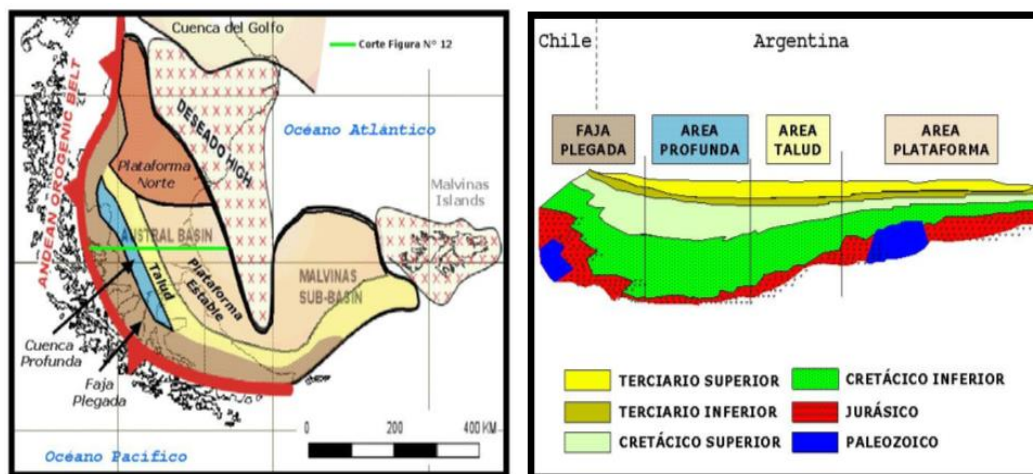


Figura 1. Regiones tectono-sedimentarias (izquierda) y bosquejo estructural (derecha) de la Cuenca Austral. Imagen tomada de Norberto Zilli, Miguel Pedrazzini, Gustavo Peroni. - 54 pág. Capítulo III – La Cuenca Austral. Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino. El Calafate, III-3:607-662. Buenos Aires, 2002.

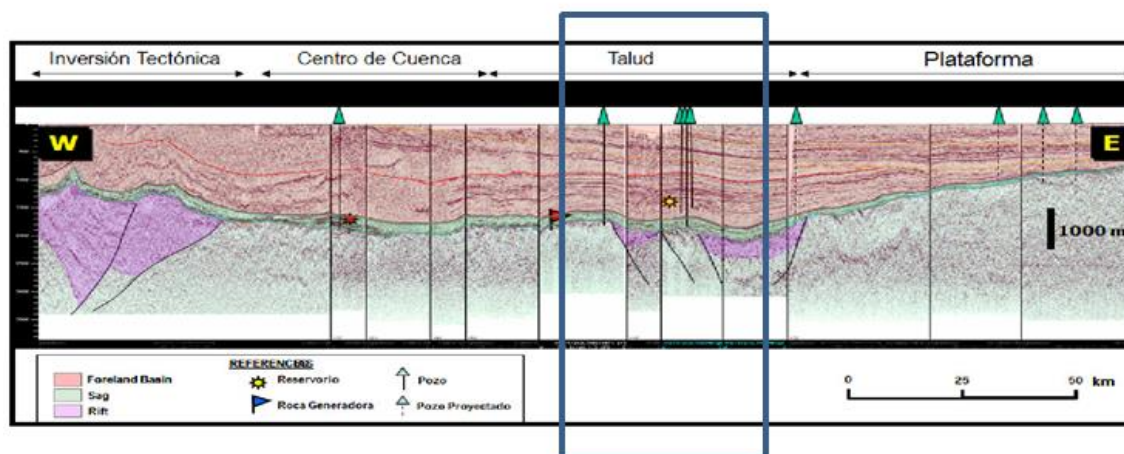


Figura 2. Sección Sísmica regional integrada Oeste-Este (aproximadamente 200 km de longitud), mostrando la inversión tectónica del foothills, centro de cuenca, talud (correspondiente a la plataforma oriental y plataforma norte) y plataforma al este. Hacia el oeste aflora el Cretácico Inferior. El recuadro azul representa el área de estudio en el subsuelo. (Perfil tomado de Hugo Belotti, Facundo Pagan, Jorge F. Rodriguez, Ana Maria Perez Mazas – 18 pág. “La Formación Palermo Aike como reservorio no convencional en la Cuenca Austral, provincia de Santa Cruz, Argentina”. Conference Paper. Noviembre 2014).

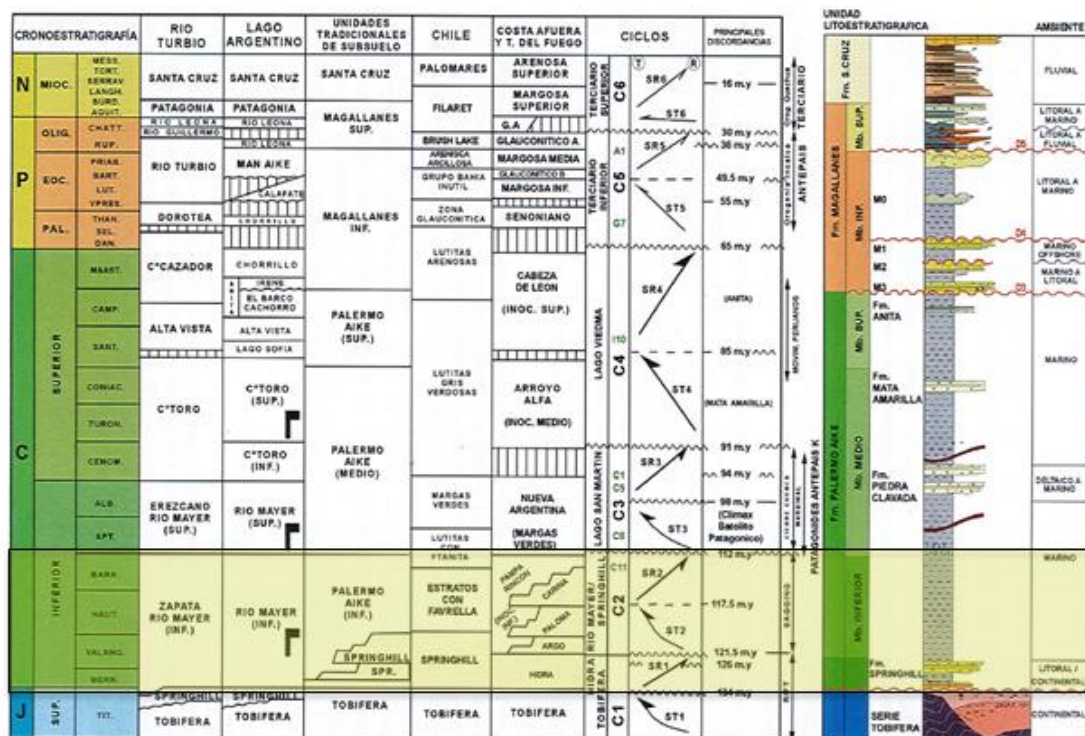


Figura 3. Cuadro estratigráfico y ciclos depositacionales (modificado por Robbiano et al. 1996) incluyendo los principales ciclos propuestos por Arbe (1986,1987,1989,2002). Representa el subsuelo del sector en estudio de la Cuenca Austral-Magallanes. El recuadro amarillo resalta el intervalo de interés. (Imagen tomada de Jorge F. Rodríguez, Muriel Miller, Marcelo J. Cagnolatti. – 31 pág. Cuenca Austral – Simposio Sistemas Petroleros VIII – Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos).

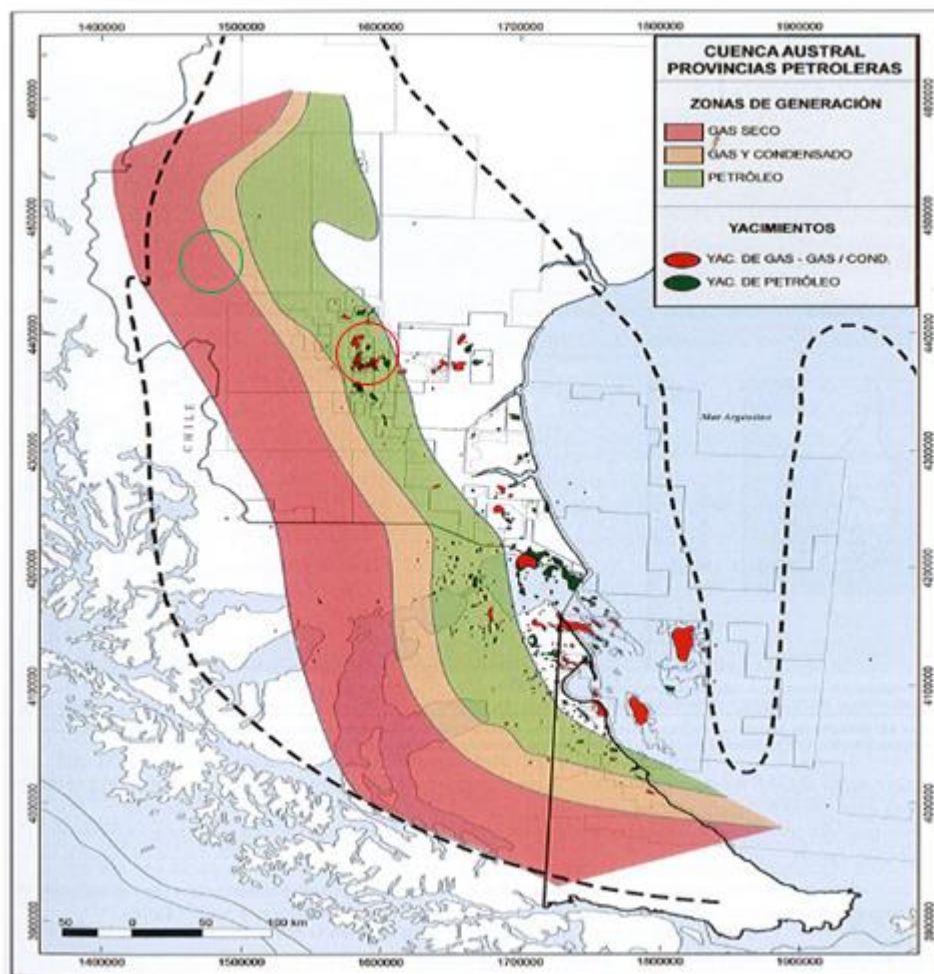


Figura 4. Mapa de madurez térmica a tiempo presente de los miembros Inferior y Medio de la Fm. Palermo Aike Inferior mostrando las diferentes ventanas de hidrocarburo: verde (petróleo), naranja (gas húmedo) y rojo (gas seco). Los yacimientos de petróleo (verde) y gas (rojo) están delineados. El área de estudio en subsuelo está definida por el círculo rojo, y el círculo verde representa el lugar donde se obtuvieron los datos de afloramiento, por Richiano et al., 2015. (Mapa tomado de Hugo Belotti, Facundo Pagan, Jorge F. Rodríguez, Ana Maria Perez Mazas – 18 pág. “La Formación Palermo Aike como reservorio no convencional en la Cuenca Austral, provincia de Santa Cruz, Argentina”. Conference Paper. Noviembre 2014).

SISTEMA PETROLERO

Conceptos generales

Un sistema petrolero (Figura 5) está compuesto de cuatro elementos esenciales: roca madre, roca reservorio, sello y cobertura. A su vez tienen que darse procesos fundamentales como el ciclo generación-migración-acumulación y preservación de hidrocarburos. Los elementos y procesos citados tienen que estar dispuestos de forma adecuada en tiempo y espacio para poder formar una acumulación.

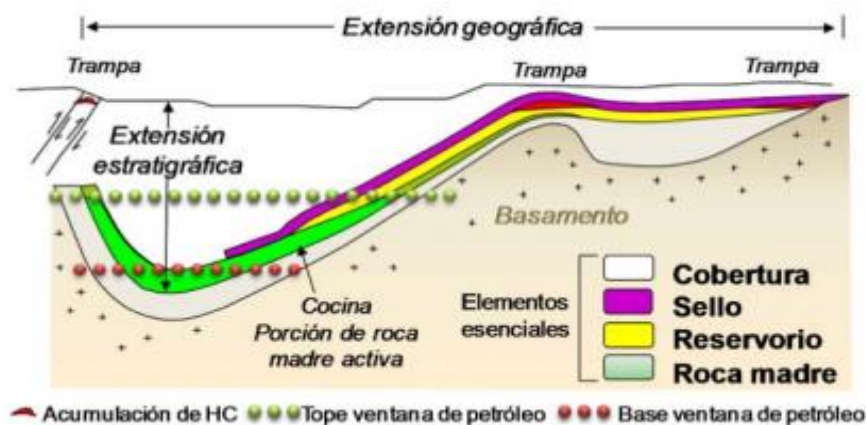


Figura 5. Esquema del sistema petrolero, modificado de Magoon y Dow, 1994.

La roca madre o generadora es una roca sedimentaria con un contenido elevado de materia orgánica (más de un 1% en Carbono Orgánico Total o COT), se la considera como activa cuando está o estuvo en condiciones de madurez y riqueza suficientes como para generar hidrocarburos y requiere tener extensión y espesor suficiente para ser considerada como tal y poder proveer un volumen de hidrocarburo significativo. La roca reservorio es una roca sedimentaria o ígnea con características petrofísicas (porosidad y permeabilidad) que permiten el flujo y almacenamiento de hidrocarburos. Debe proveer producción en condiciones económicas luego de las estimulaciones pertinentes. Cabe destacar que no siempre una roca reservorio debe estimularse, cuando hablamos de reservorios convencionales.

El sello es una roca con características petrofísicas (porosidad y permeabilidad) tales que crea una barrera al flujo de hidrocarburos fuera del reservorio, puede ser una unidad diferente al reservorio o un cambio en las propiedades de este (cambio de facies, diagénesis). Una trampa es una configuración de rocas reservorio y sellos capaz de capturar y retener los hidrocarburos en una posición determinada, habiendo diferentes tipos: estructural, estratigráfica y mixta (combinación de ambas).

Sistemas Petroleros – Cuenca Austral

Estructuralmente la cuenca se ha dividido en tres provincias (Figura 6), en donde a lo largo de los años se reconocieron diversos sistemas petroleros, siendo algunos más importantes que otros debido a su potencial hidrocarburífero:

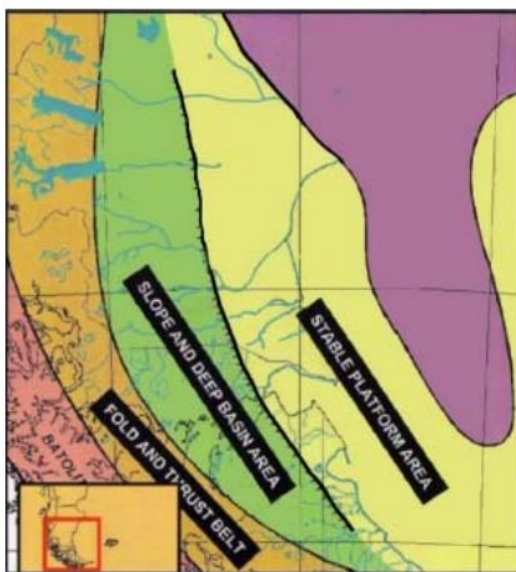


Figura 6: División de las provincias estructurales dentro el ámbito de Cuadro estratigráfico y ciclos depositacionales. Modificado de Rodríguez et al., 2008.

- Sistema petrolero Inoceramus inferior (Palermo Aike inferior) – Springhill, ubicado en la zona de plataforma estable.
- Sistema petrolero Inoceramus inferior – Magallanes inferior, ubicado en el centro de cuenca al oeste del área de plataforma. La Formación Inoceramus inferior, también conocida como Palermo Aike inferior en subsuelo (Figura 3), es la principal roca madre de la cuenca y se comporta además como roca generadora para dichos sistemas. Está compuesta por arcillitas y pelitas que presentan un COT bajo a moderado, con querógeno principalmente de tipo II/III, y en menor medida de tipo III/IV. La zona de plataforma estable de la formación Springhill se encuentra en la etapa cercana a la ventana de petróleo, mientras que la parte profunda de la cuenca se ubica en la ventana de generación de petróleo y gas. La formación Springhill, principal roca reservorio de la región, actuó como *carrier*, permitiendo el desplazamiento del hidrocarburo hasta su entrapamiento final. La migración secundaria se produjo lateralmente desde el oeste, como también migración vertical a través de fallas y corrimientos.
- Sistema petrolero inoceramus inferior – Tobífera: la primera se comporta como roca madre, las principales vías de migración son los sistemas de fallas. El entrapamiento de los hidrocarburos se da en reservorios de la Serie Tobífera.

- Sistema petrolero Tobífera – Tobífera. Este último, se encuentra conformado por arcillitas generadoras intercaladas en la llamada sección Inferior de esta serie y que aportan hidrocarburos que se alojan en poros primarios y secundarios producto de fracturas.

METODOLOGÍA

Con el fin de alcanzar el objetivo propuesto, en una primera etapa se realizó la recopilación y el análisis de datos bibliográficos; y se evaluó la información presente en el legajo del pozo (descripción litológica, perfiles eléctricos, geoquímica orgánica, y bioestratigrafía). Para complementar esta información, en una segunda etapa, se adquirió a partir de recortes de perforación, datos de fluorescencia de rayos X (FRX), difracción de rayos X (DRX), colorimetría y susceptibilidad magnética (SM). Todos estos datos fueron visualizados en profundidad mediante el *software Interactive Petrophysics (IP)*, aplicando distintas metodologías de análisis. Asimismo la información del legajo del pozo fue volcada en tablas a través de *Microsoft Excel*; la cual se utilizó para compilar y comparar los datos en formato de curvas, tablas, gráficos y diagramas.

En una tercera etapa se llevó a cabo la comparación con distintos *shales* de EEUU y la correlación entre las unidades similares presentes en subsuelo (formación Palermo Aike) y en afloramiento (formación Río Mayer, con afloramiento en seccional Río Guanaco, tomada de Richiano et al., 2012) para, por último, realizar la integración de todos los datos analizados y establecer las conclusiones a partir de la información disponible a fin de evaluar la heterogeneidad de dicha formación desde el punto de vista no convencional y establecer los potenciales “*sweet spot*” o niveles de interés desde el punto de vista geológico, geoquímico y geomecánico.

Es necesario aclarar lo siguiente: en general, en el trabajo de subsuelo se cuenta con muestras obtenidas de la perforación del pozo, las cuales pueden ser testigos corona, testigos laterales y/o recortes de perforación.

En este caso, solo se cuenta con recortes de perforación (*cutting*). Los mismos constan de fragmentos de roca que se obtienen del proceso de perforación, y están formados por las partículas trituradas de las distintas formaciones que el trépano va atravesando, para que luego sean evacuadas del pozo por el espacio anular que existe entre la sarta de perforación y las paredes del mismo. El *cutting* está conformado por las distintas litologías de la formación perforada, entre otros; arcillas, areniscas, lutitas, conglomerados, carbonatos, etc. A su vez, las litologías están constituidas por minerales tales como cuarzo, feldespatos, argilominerales y otros compuestos calcáreos y de sílice que pueden estar impregnados con fluidos de perforación.

Una vez que los recortes de perforación alcanzan la superficie se criban a partir del sistema de lodo líquido en las zarandas vibratorias y son monitoreados en cuanto a composición, tamaño, forma, color, textura, contenido de hidrocarburos y otras propiedades por un geólogo especialista en registros de lodo, el registrador de lodo y el personal en sitio. El registrador de lodo generalmente captura las muestras de recortes para el proceso subsiguiente de análisis y archivado.

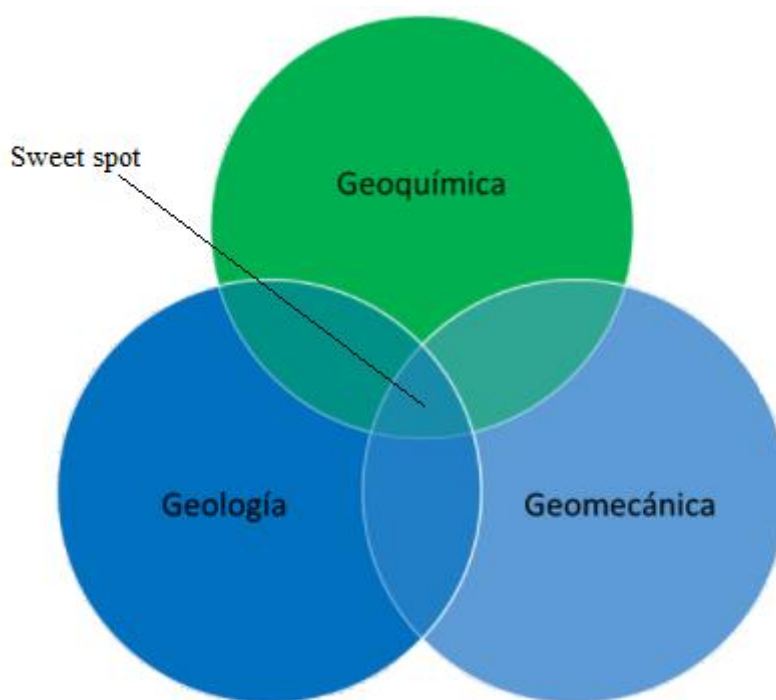
Debido a que décadas atrás, el objetivo de *YPF S.A.* con respecto a este pozo no era la formación Palermo Aike, el distanciamiento que se tomó entre las muestras es amplio (una

muestra cada 10 metros). Generalmente se toman muestras cada 2-3 metros de distancia en las formaciones de interés.

Con la información del *cutting*, el objetivo principal fue poder identificar la heterogeneidad geológica de la formación Palermo Aike, y poder compararla, a grandes rasgos, con el perfil de afloramiento levantado por S. Richiano (Richiano et al. 2015).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para caracterizar un reservorio no convencional necesitamos tener un abordaje de las siguientes tres disciplinas: geología, geoquímica y geomecánica.



De esta manera, se cuenta con perfiles eléctricos, control geológico, DRX, FRX, susceptibilidad magnética, colorimetría, datos de pirólisis, COT, T Máx., S2/S3 y tipo de kerógeno; y triángulos composicionales que permiten brindar una idea acerca de la resistencia y fracturabilidad de las rocas basados en los porcentajes de carbonatos (calcita + dolomita), silicatos (cuarzo + feldestpatos) y arcillas.

GEOLOGÍA

Con la finalidad de alcanzar el objetivo propuesto, el presente TFL se basa en el estudio de un pozo que ha perforado la formación Palermo Aike, la cual se encuentra en el subsuelo de la Cuenca Austral, a una profundidad que va desde los 1580 a 3180 metros, teniendo un espesor de 1600 metros. Y, de la misma manera, del estudio de su formación equivalente en afloramiento, la formación Río Mayer, ubicada entre los lagos San Martín y Argentino, en el sector oeste de la cuenca, la cual define un potencial similar en la sección Inferior, equivalente a la formación Palermo Aike.

Para poder entender e interpretar la geología de la formación Palermo Aike en el pozo en cuestión, se adquirieron diversos tipos de datos con los cuales se efectuaron perfiles (Figura 7) mediante el uso del *software IP*.

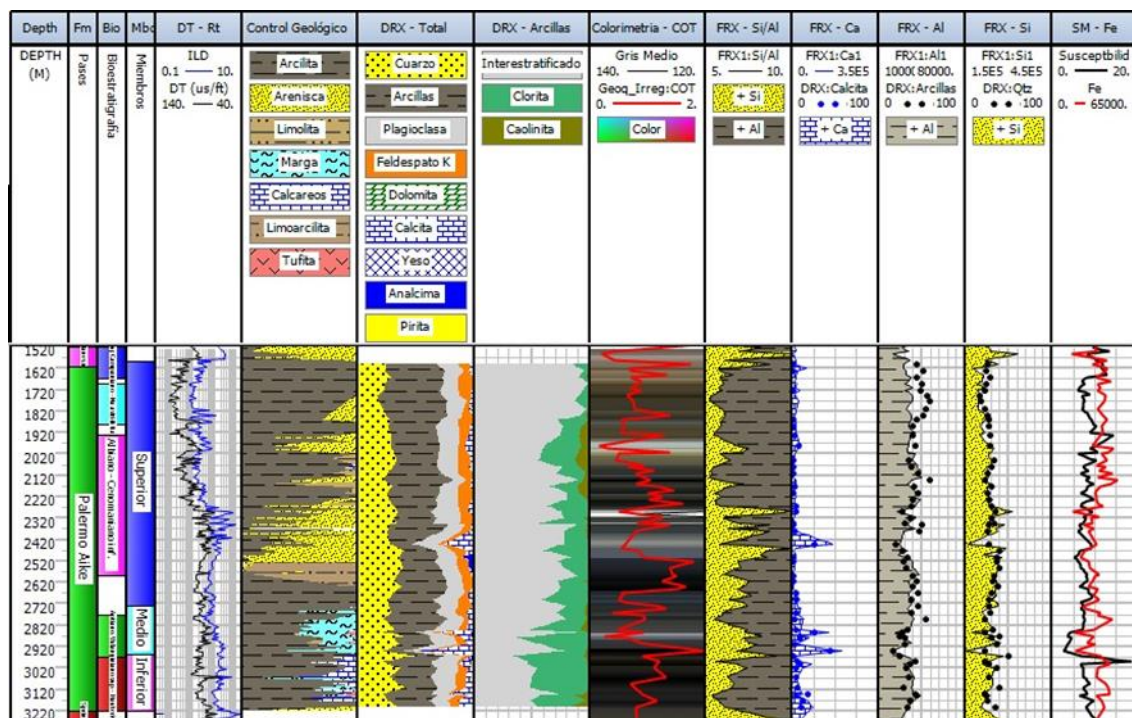


Figura 7. Captura del Software IP, perfiles de las secciones Inferior, Media y Superior de la formación Palermo Aike. Nótese en ambos recuadros la coincidencia entre la separación de las curvas de resistividad y sónico que compara muy bien con el aumento de COT y el color.

Los perfiles eléctricos con que se cuenta son *Resistividad* y *Sónico*. Teniendo en cuenta el *Método de Passey et al. 1990*, el cual combina los perfiles de porosidad y resistividad, tal como se observa en la Figura 7, se observa un mayor cruce de ambas curvas mediante una combinación de aumento del perfil de resistividad, con un aumento del tiempo de tránsito. Esto posibilita definir zonas con mayor COT y por lo tanto delimitar la zona con mayor potencial de generación, la cual fue ubicada en los miembros Inferior y Medio de la formación Palermo Aike. Esto coincide con un aumento del COT y el gris medio de la colorimetría. (Figura 7)

Con respecto al **Control Geológico (CG)**, se describieron 180 muestras para la formación Palermo Aike, en general cada cinco o diez metros, habiendo intervalos sin descripción. La totalidad de las litologías involucradas son ocho, siendo entre ellas las más importantes arcillitas, areniscas, limolitas, tufitas, margas, calcáreos y limoarcillitas.

El perfil realizado demuestra predominancia de arcillitas a lo largo de toda la formación; con intercalaciones mayormente de calcáreos y en menor medida tufitas y margas en la **Sección Inferior** de la formación (figura 8), la cual inicia con un 100% de areniscas en su base a los 3202 metros, que pasan rápidamente a 100% de arcillitas hacia los 3200 metros, presentándose de manera continua hasta los 3156 metros en donde el contenido de calcáreos es del 100%. Luego de esa profundidad siguen siendo contundentes los valores de arcillitas, con porcentajes siempre mayores al 50%, a excepción de los 3052 y 3044 metros, donde existe un 80% de margas y un 90% de calcáreos, respectivamente. (Figuras 9 y 10)

La **Sección Media** (Figura 8) inicia a los 2950 metros con 90% de arcillitas y 10% de calcáreos, en dicha sección es predominante la intercalación de arcillitas y margas, siendo la relación aproximada entre ellas de 55% - 45% respectivamente, con muy bajos porcentajes de tufitas (10%). (Figuras 9 y 10)

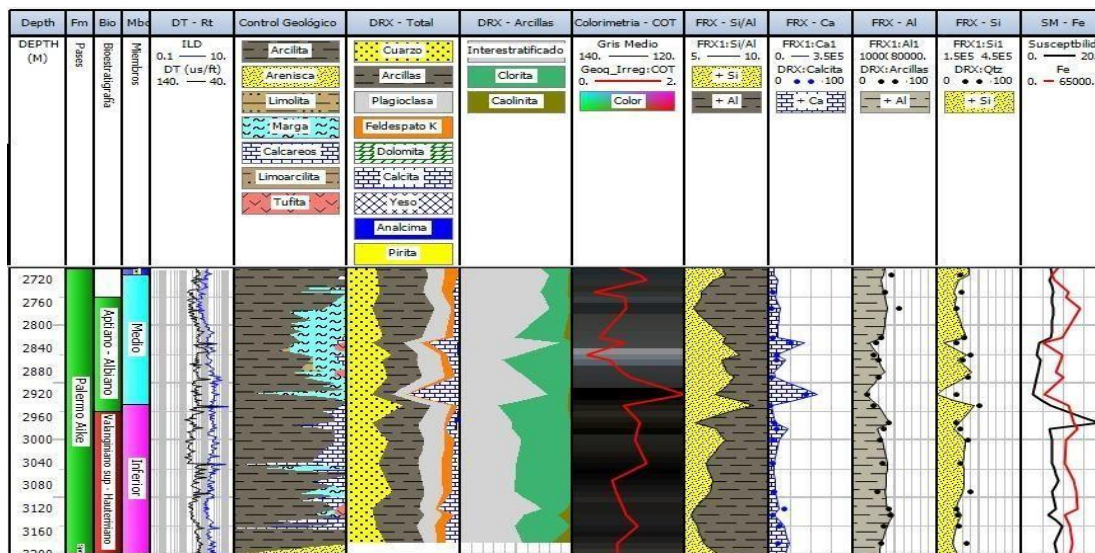


Figura 8. Perfiles de las secciones Inferior y Media de la formación Palermo Aike.

Hacia la **Sección Superior** (figura 7), a 2744 metros, la presencia de carbonatos disminuye considerablemente, iniciando con elevados porcentajes de arcilitas en la base (aprox. 100%). A los 2540 metros pasa gradualmente a un 100% de limoarcillita, observándose un incremento del material silicoclástico en la parte basal de dicha sección, que luego pasa a un 100% de areniscas cerca de los 2500 metros, las cuales van disminuyendo en proporción hacia el techo de la formación, donde vuelve a ser notable la presencia de arcilitas con valores del 100% desde los 1915 metros hasta los 1570 metros. (Figuras 9 y 10)

Miembro Inferior	Promedio %	Miembro Medio	Promedio %	Miembro Superior	Promedio %
Arenisca	3	Arenisca	0	Arenisca	31
Arcilita	72	Arcilita	65	Arcilita	58
Limolita	0	Limolita	2	Limolita	2
Limoarcillita	0	Limoarcillita	0	Limoarcillita	8
Marga	5	Marga	29	Marga	1
Tufita	1	Tufita	2	Tufita	0
Calcáreos	19	Calcáreos	1	Calcáreos	0
Calcipelita	0	Calcipelita	1	Calcipelita	0

Figura 9. Comparación entre los promedios porcentuales del Control Geológico correspondientes a las secciones Inferior, Media y Superior de la formación Palermo Aike.

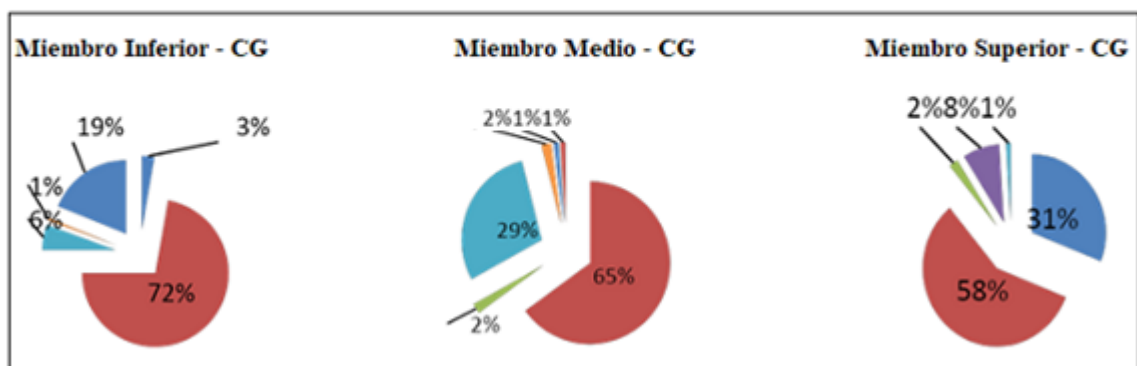


Figura 10. Gráficos de torta que ilustran los diferentes promedios porcentuales del Control Geológico para las secciones Inferior, Media y Superior de la formación Palermo Aike.

Se realizó **DRX (Difracción de Rayos X)** tanto en Roca Total (Cuarzo, Arcillas, Plagioclasas, Feldespato K, Calcita, Analcima y Pirita) como en Fracción Arcilla (Interestratificados Illita-Esmectita, Clorita y Caolinita) de la formación Palermo Aike.

En Roca Total, (Figuras 11 y 12) los valores generales poseen una media de:

- Cuarzo: 29%
- Arcillas: 39%
- Plagioclasas: 17%
- Feldespato K: 8%
- Calcita: 6%
- Analcima: 1%
- Pirita: 1%

Miembro	Roca Total	Promedio	Miembro	Roca Total	Promedio
Inferior	Cuarzo	30	Medio	Cuarzo	34
Inferior	Arcilla	36	Medio	Arcilla	30
Inferior	Plagioclasa	18	Medio	Plagioclasa	18
Inferior	Feldespato K	7	Medio	Feldespato K	8
Inferior	Calcita	7	Medio	Calcita	8
Inferior	Analcima	1	Medio	Analcima	1
Inferior	Rita	1	Medio	Rita	1

Miembro	Roca Total	Promedio
Superior	Cuarzo	28
Superior	Arcilla	39
Superior	Plagioclasa	16
Superior	Feldespato K	10
Superior	Calcita	3
Superior	Analcima	3
Superior	Rita	1

Figura 11. Promedios de DRX para Roca Total de los miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike.

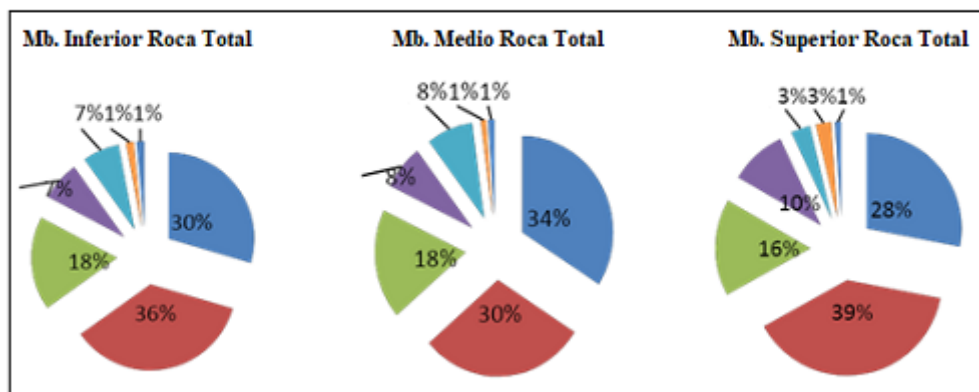


Figura 12. Gráficos de torta que representan los diferentes promedios de DRX en Roca Total para los miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike.

En Fracción Arcilla, (Figuras 13 y 14) los valores generales poseen una media de:

-Interestratificados Illita – Esmeclita: 70%

-Clorita: 27%

-Caolinita: 4%

Miembro	Fracción Arcilla	Promedio	Miembro	Fracción Arcilla	Promedio
Inferior	Interestratificados Ill/Sm	50	Medio	Interestratificados Ill/Sm	55
Inferior	Clorita	43	Medio	Clorita	40
Inferior	Caolinita	7	Medio	Caolinita	5

Miembro	Fracción Arcilla	Promedio
Superior	Interestratificados Ill/Sm	75
Superior	Clorita	20
Superior	Caolinita	5

Figura 13. Promedios de DRX para Fracción Arcilla de los miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike.

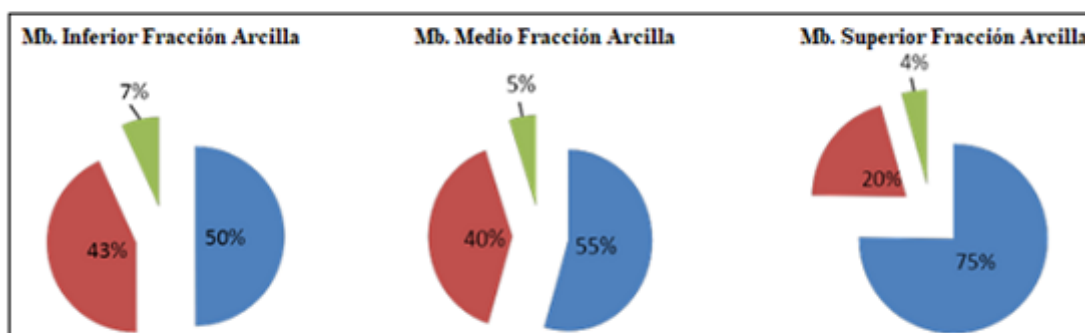


Figura 14. Gráficos de torta que representan los diferentes promedios de DRX en Fracción Arcilla para los miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike.

En relación a la **susceptibilidad magnética (SM)**, se midieron en laboratorio aproximadamente 188 muestras sobre recortes de perforación, las cuales presentan intervalos de diez metros, existiendo profundidades en las cuales no pudieron ser determinados los valores de SM.

Todos estos datos fueron introducidos en tablas dentro del *software Microsoft Excel*, asignando valores de SM que van de cero a veinte (0-20); siendo el valor más bajo 3.5 a las profundidades de 2880 y 2840 metros; y el más alto 18.5 al intervalo de 2960 - 2970 metros.

Estos valores evidencian una ligera relación con los valores de FRX del hierro, teniendo la SM el pico más notable y significativo, mencionado anteriormente, con 18.5 a la profundidad de 2960 metros, profundidad a la cual los valores de hierro también se incrementan.

Teniendo en cuenta los promedios de SM por miembro de la Fm. Palermo Aike (Figuras 15 y 16):

Miembros	Promedio
Inferior	8,92
Medio	4,8
Superior	8,19

Figura 15. Promedios de SM para los miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike.

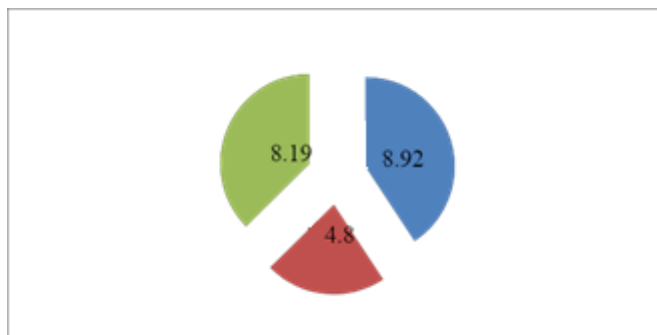


Figura 16. Gráficos de torta que representan los diferentes promedios de SM para los miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike.

Con todos los datos cargados en el *software IP* se realizaron análisis de *cluster* para definir intervalos con comportamiento similar en sentido vertical que permitieran interpretar la ciclicidad o ritmicidad del patrón de apilamiento.

Intentamos validar la segmentación de la zona de interés utilizando la información disponible y siguiendo criterios estratigráficos extrapolables en la cuenca.

Belotti, et al. 2014 identifican parasecuencias en función del contenido de COT, carbonatos y silicoclásticos. Estos últimos en relación inversa. (Figura 17)

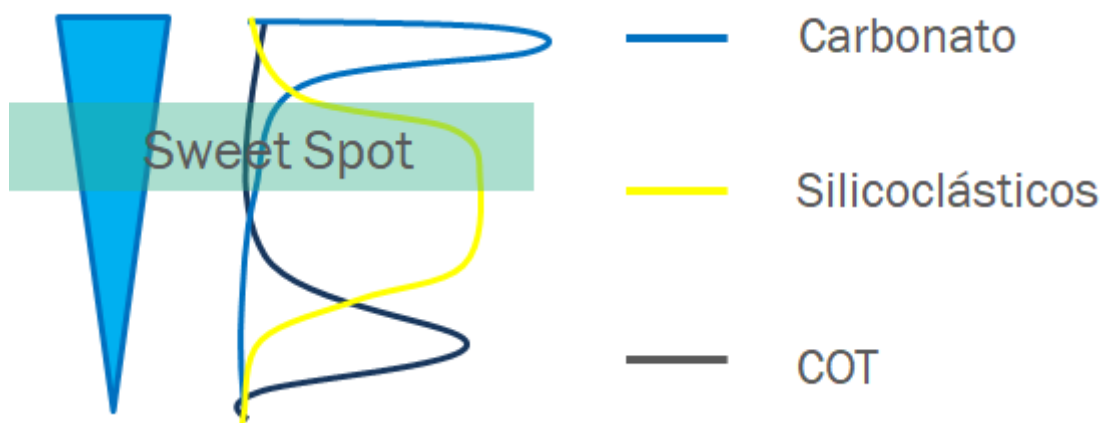


Figura 17. Representación gráfica de la variación entre valores de COT, silicoclásticos y carbonatos.

Los topes de parasecuencias muestran fuertes evidencias de hidrocarburos libres (incrementos notables de las manifestaciones de gas durante la perforación y presencia de petróleo en el *cutting* o en el lodo).

El análisis de *cluster* se realizó teniendo en cuenta el calcio del FRX como evidencia del contenido de carbonato, la relación Si/Al del FRX como evidencia del contenido de silicoclásticos y el COT obtenido de la geoquímica, intentando reproducir las relaciones composicionales observadas por Belotti donde potencialmente se alojaría el hidrocarburo. También se agregó el perfil sónico para darle mejor resolución al *cluster*.

Se separaron cinco familias con respuestas similares (Figura 18) siendo los niveles azul y amarillo los que reúnen las mejores condiciones como “*landing zones*” o zonas interesantes para geo-navegar un futuro pozo horizontal.

DT35		Ca		Si/Al		COT	
Mean	Std Dev.	Mean	Std Dev.	Mean	Std Dev.	Mean	Std Dev.
83.677	2.541	45063	19808	7.6381	0.5655	0.46333	0.2154
92.457	2.201	30520	10844	5.768	0.3258	0.95142	0.2925
87.124	2.933	50309	24369	6.572	0.5315	1.0014	0.2368
84.048	2.254	20171	7659	7.9972	0.7603	1.0025	0.1335
81.714	3.455	174950	34847	7.0447	0.3051	1.47	0.7495

Figura 18. Representación en tabla de los valores de Ca, Si/Al y COT, separados en cinco familias.

Se correlacionó la figura citada en la publicación de Belotti con los perfiles existentes (sónico, resistividad) que identifica tres niveles (Figura 19) dentro de la zona de interés: *Lower Hot Shale (LHS)*, *Hot Shale (HS)* y *Upper Hot Shale (UHS)* identificándose cada uno en las siguientes profundidades:

- *UHS*: 2850 - 2950 metros
- *HS*: 2950 - 3040 metros
- *LHS*: 3040 - 3200 metros

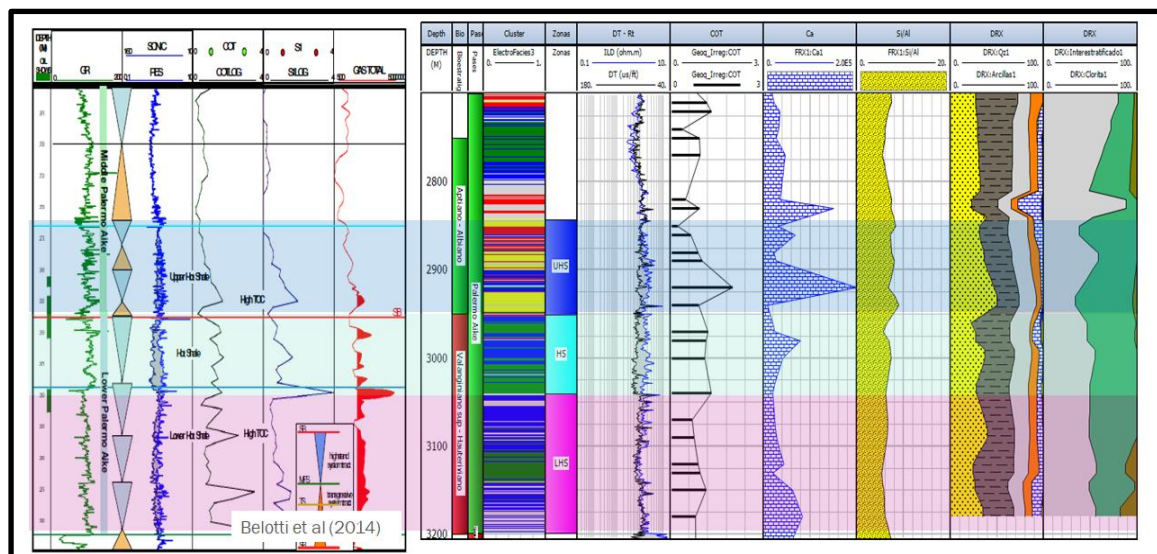


Figura 19. Diferentes niveles divididos en Lower Hot Shale, Hot Shale y Upper Hot Shale.

Siendo para el *LHS* y *HS* (Figura 20) los niveles cercanos al *cluster* azul los mejores para geo-navegar (bajo COT, bajo Ca y alto Si) en las profundidades:

- 1- 3170 metros
- 2- 3090 metros
- 3- 3000 metros

Para el *UHS* (Figura 20) los niveles cercanos al *cluster* amarillo serían los sugeridos para geo-navegar (bajo COT, bajo Ca y alto Si):

- 1 - 2950 metros
- 2 - 2850 metros

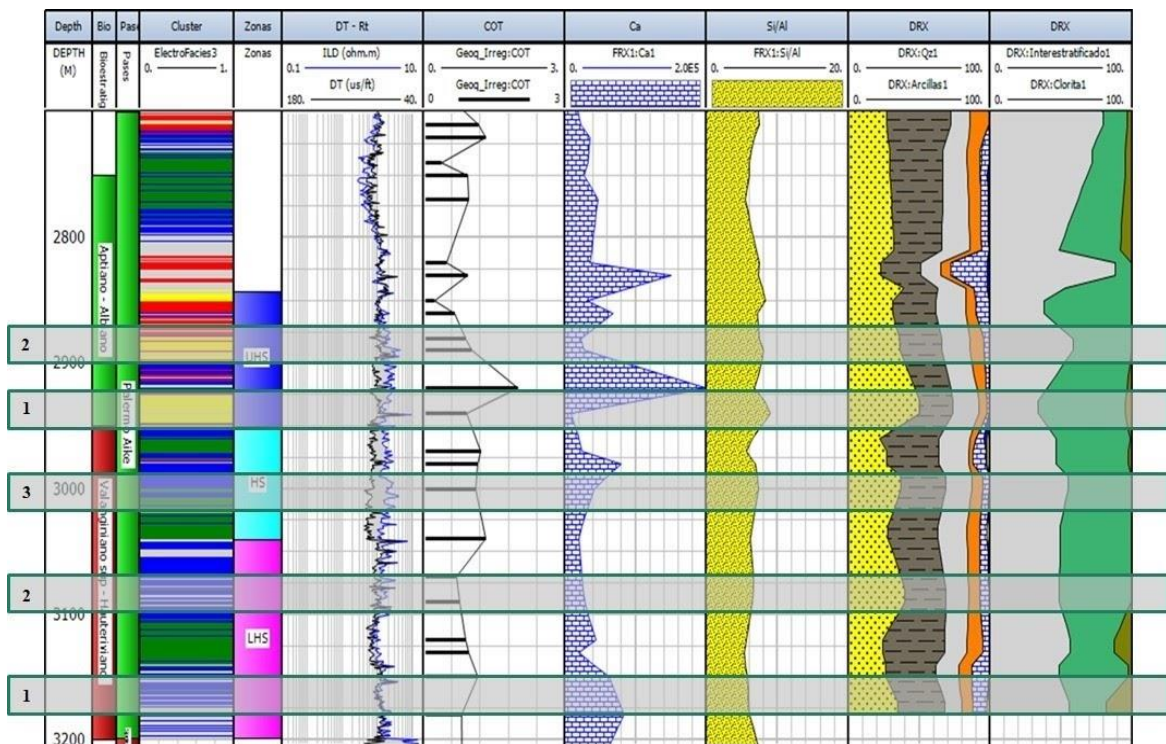


Figura 20. Diferentes niveles de profundidades sugeridos para geo-navegar.

GEOQUÍMICA

Se efectuaron mediciones de **Colorimetría** (ver Anexo) sobre los recortes de perforación, donde los datos adquiridos en laboratorio se utilizaron para poder realizar curvas de color rojo, verde y azul; con las cuales haciendo un promedio de las tres, en cada profundidad, se obtuvo un valor de Gris Medio. Con estas evidencias se realizaron perfiles que permiten realizar comparaciones con las curvas de COT. En relación a esto, se le realizaron estudios geoquímicos a 83 muestras cada diez metros, a las cuales se les determinaron los valores de COT.

Al graficar los datos en el *software IP*, quedan representadas las curvas, siendo los valores más bajos de Gris Medio más oscuros, y los valores más altos de Gris Medio, más claros (Figura 7). En el perfil logra observarse que los valores más significativos se encuentran dentro de las secciones Inferior y Media de la formación Palermo Aike, a profundidades de 3140, 3040, y 2920 metros, siendo estos picos de COT los que guardan una clara relación con los colores más oscuros, adquiridos mediante colorimetría.

Con estos datos, se realizaron tablas (Figura 21) a fin de visualizar la variación en promedio de los diferentes colores en cada miembro de la formación Palermo Aike:

Miembro Inferior	Promedio	Miembro Medio	Promedio
Colorimetría: R	84,76	Colorimetría: R	91,56
Colorimetría: Gris Medio	81,43	Colorimetría: Gris Medio	88,05
Colorimetría: G	81,79	Colorimetría: G	88,76
Colorimetría: B	77,7	Colorimetría: B	83,62

Miembro Superior	Promedio
Colorimetría: R	96,29
Colorimetría: Gris Medio	91,24
Colorimetría: G	92,45
Colorimetría: B	86,16

Figura 21. Promedios de Colorimetría para los miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike.

Se realizaron correlaciones entre COT vs colorimetría (gris medio), las cuales se ven representadas en un diagrama *XPLOT*. (Figura 22)

El gráfico representa una correlación aceptable entre la colorimetría y el COT, lo cual apunta a que podría tomarse a la colorimetría como un parámetro alternativo al momento de necesitar hacer determinaciones de COT, ya que la toma de datos con el colorímetro es fácil, rápida y tiene menor costo que hacer un análisis de COT.

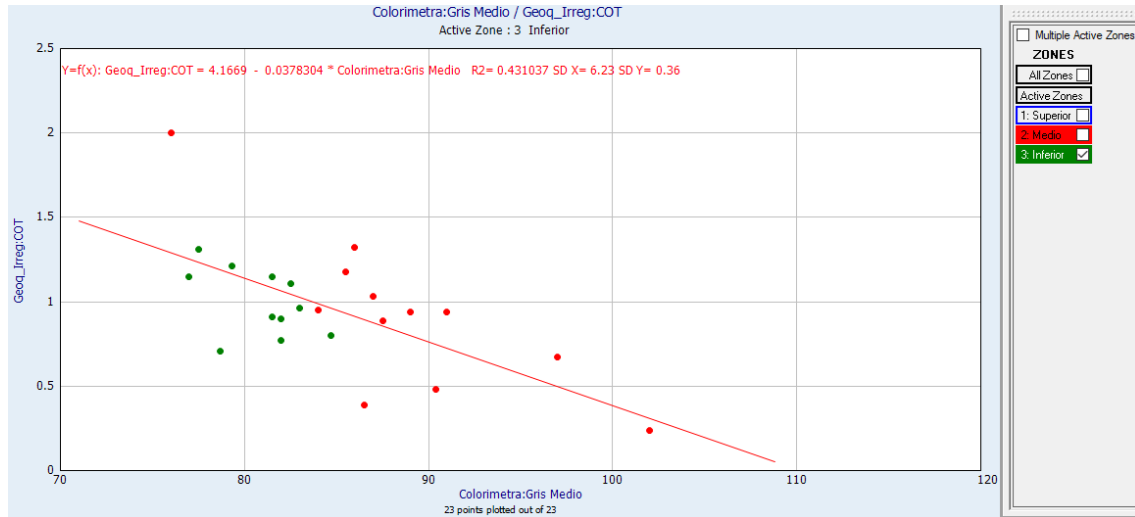


Figura 22. Diagrama *XPLOT* que correlaciona valores de COT vs colorimetría.

GEOQUÍMICA ORGÁNICA

Para lograr tener un abordaje de la geoquímica orgánica de la formación Palermo Aike, nos centramos en buscar datos que nos permitan identificar tres parámetros de gran importancia para dicho estudio.

- En primer lugar, si la formación Palermo Aike presenta el COT suficiente para que pueda considerarse como un potencial generador de hidrocarburos.
- En segundo lugar el tipo de querógeno, ya que este parámetro nos indica qué tipo de fluido generará la formación.
- En tercer lugar la madurez, a partir de datos y gráficos de T Máx., Reflectancia de Vitrinita e Índice de Coloración de Esporas, en función de la profundidad.

Utilizando datos obtenidos a partir de estudios de pirólisis, se graficaron T Máx. (Pico S2) vs. Profundidad, para poder tener un panorama expeditivo de los grados de maduración de la roca. De esta manera observamos que entre las profundidades de 2500 - 2600 metros; y 3100 - 3200 metros, se encuentran los mayores picos de generación de petróleo dentro de la formación Palermo Aike. (Figura 23)

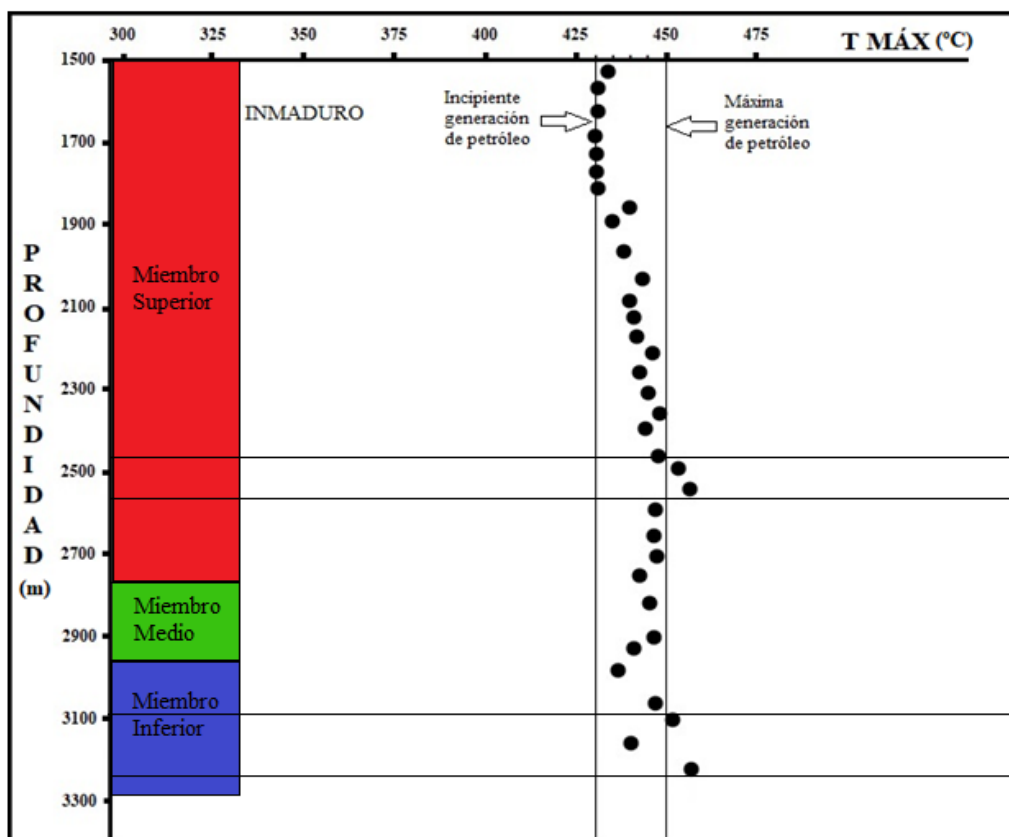


Figura 23. Representación gráfica de T Máx. vs. Profundidad.

En función de las escalas comparativas de la Reflectancia de Vitrinita (%Ro) e Índice de Coloración de Esporas (SCI), en la formación Palermo Aike el pico de maduración se encuentra a una profundidad de 2255 metros para el gráfico de la Reflectancia de Vitrinita (%Ro) con un valor de 1,0 (Figura 24); mientras que la máxima generación de petróleo ocurre a una profundidad de 2600 metros para el gráfico del Índice de Coloración de Esporas (SCI) con un valor próximo a 5,5 (Figura 25). Cabe aclarar que estos valores son los actuales y que la generación o picos máximos han sido alcanzados en algún momento de la historia geológica de la cuenca, en ese sitio específico del pozo.

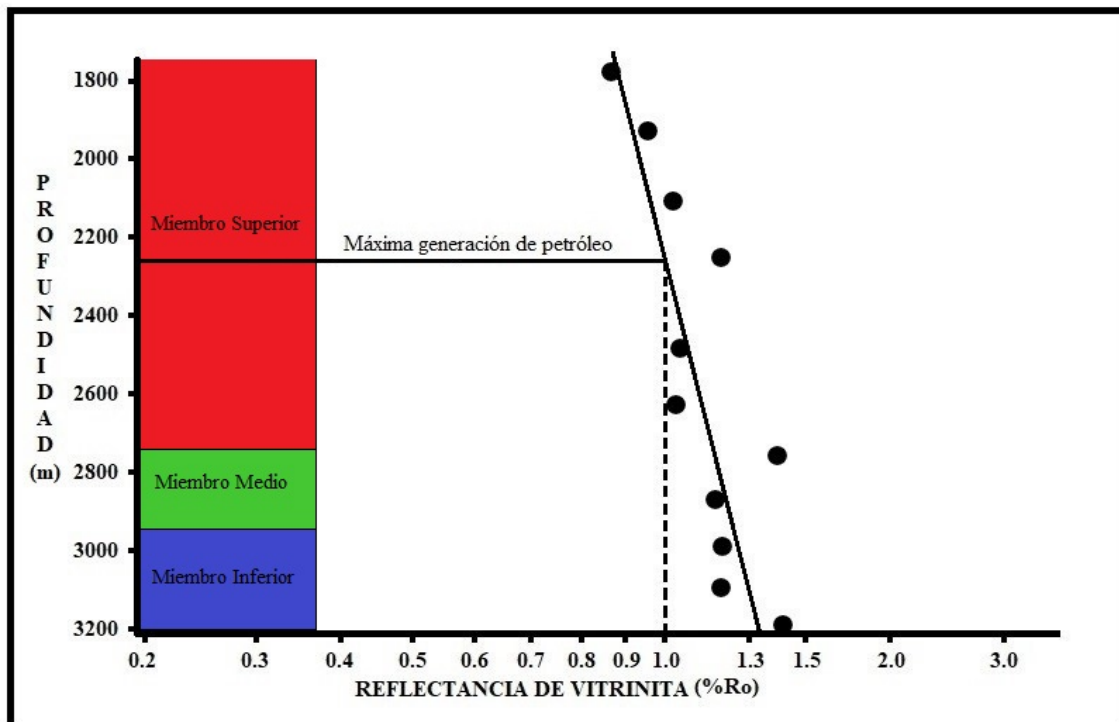


Figura 24. Representación gráfica de Reflectancia de Vitrinita (%Ro) vs. Profundidad.

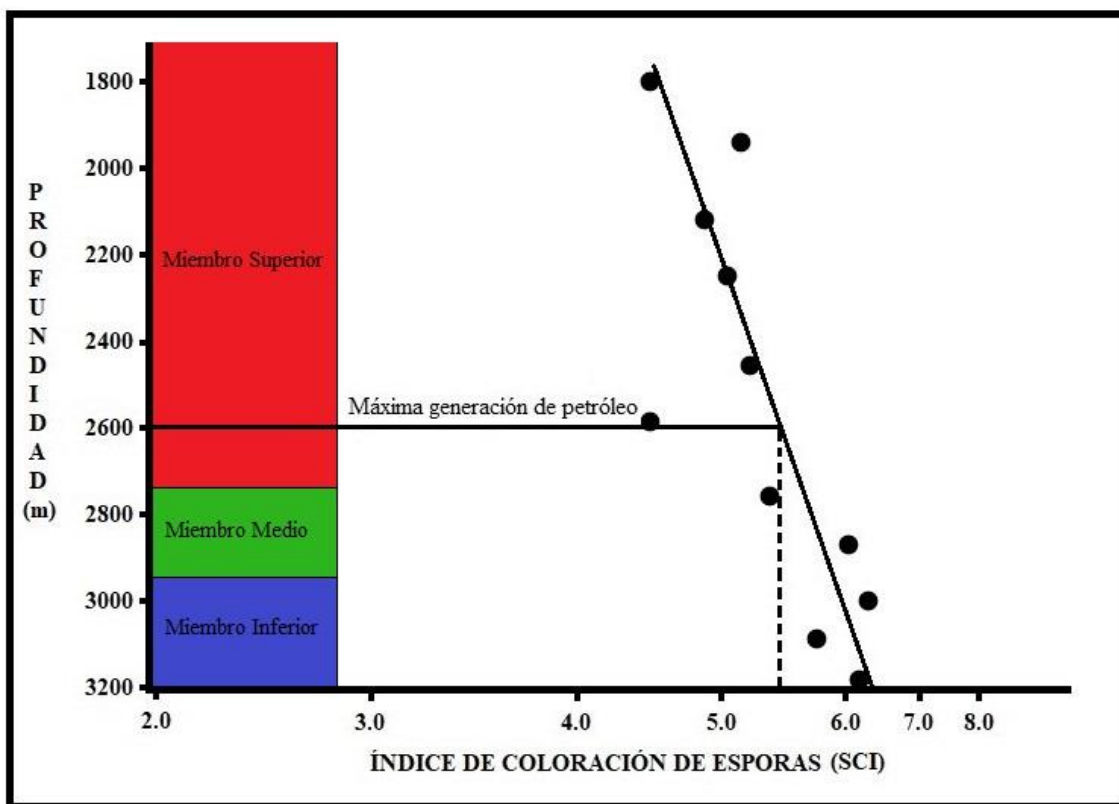


Figura 25. Representación gráfica del Índice de Coloración de Esporas (SCI) vs. Profundidad.

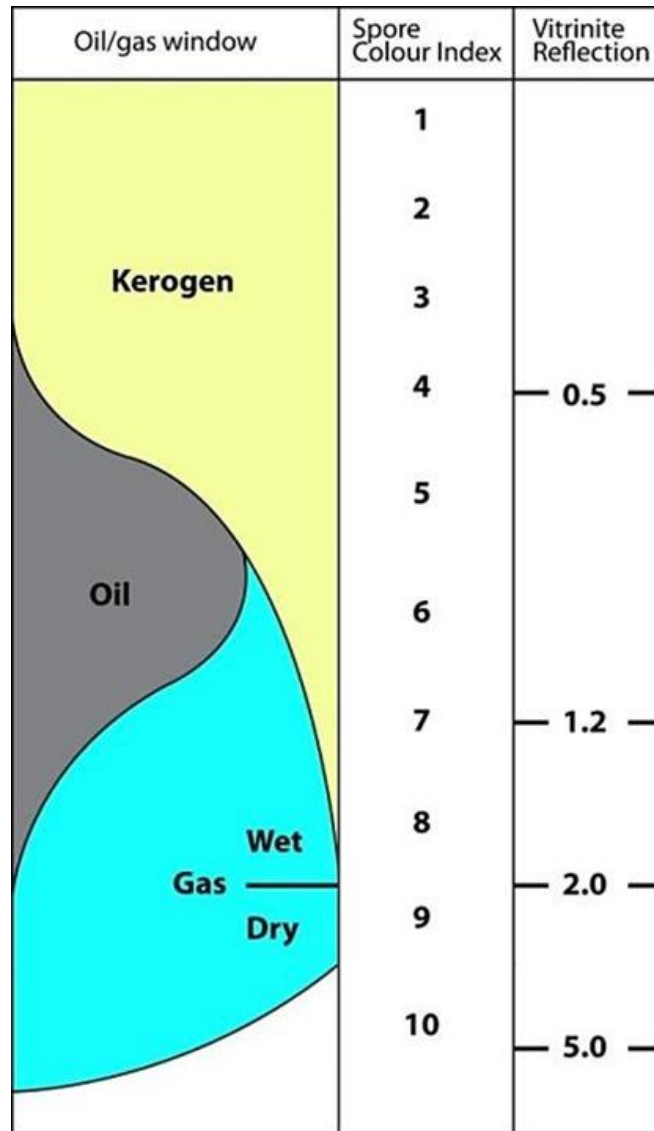


Figura 26. Cuadro que resume las equivalencias entre Reflectancia de Vitrinita e Índice de Coloración de Esporas (SCI) con respecto a las ventanas de madurez. Modificado de Dow, W.G., *Journal of Geochemical Exploration*, 1977.

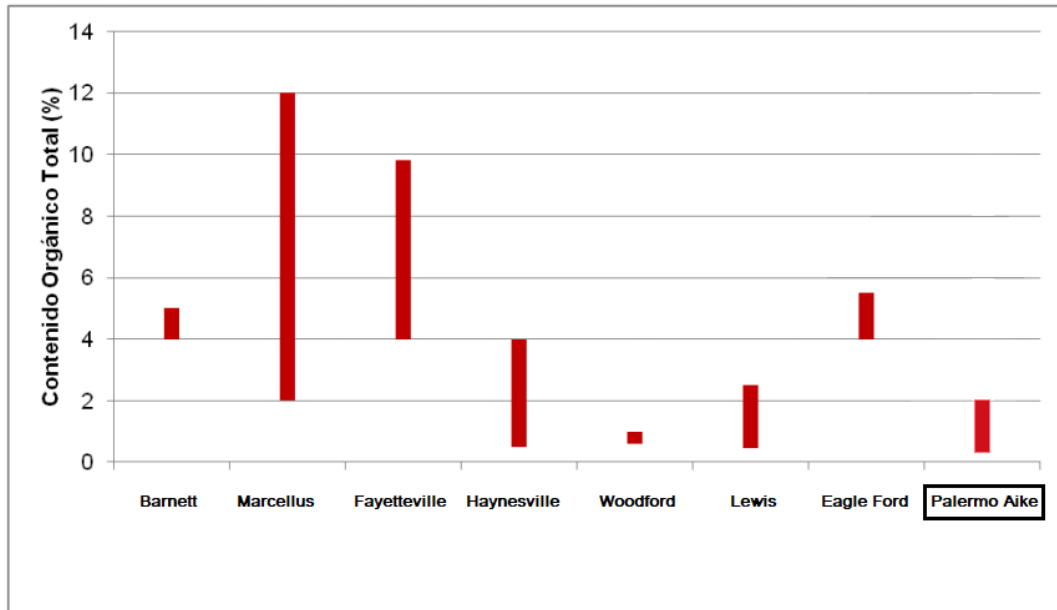


Figura 27. Comparación de los rangos de Contenido Orgánico Total entre los shales de EEUU y Palermo Aike.

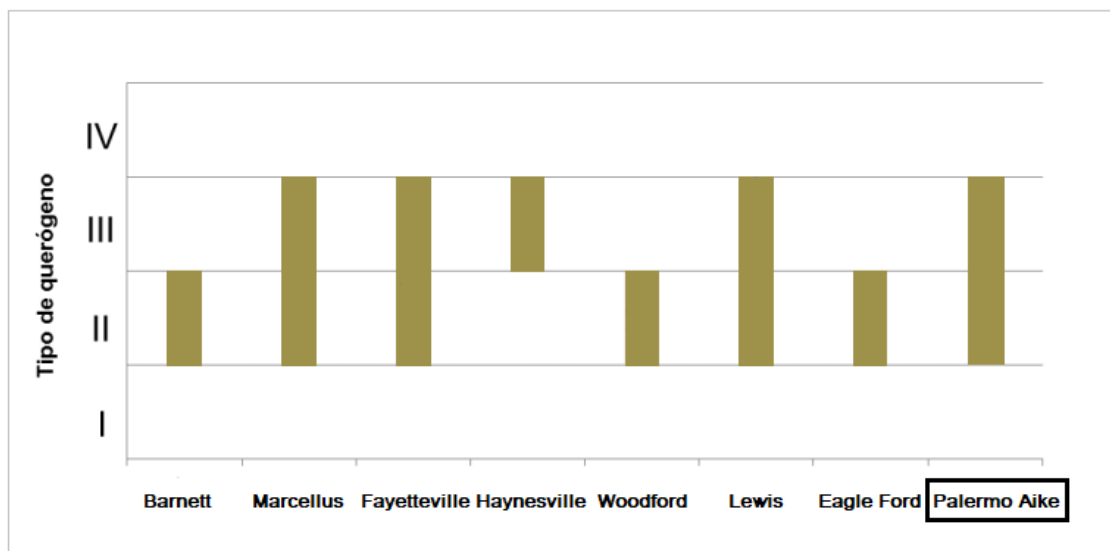


Figura 28. Comparación del tipo de querógeno entre los shales de EEUU y Palermo Aike.

GEOQUÍMICA INORGÁNICA

Con el fin de tener un abordaje de la geoquímica inorgánica, estudiar y determinar los elementos del pozo y establecer comparaciones con las mineralogías de los DRX, se realizaron estudios de **Fluorescencia de Rayos X (FRX)** de elementos tales como Zr, Zn, W, V, Ti, Sr, Sn, S, Si/Al, Se, Sb, S, Rb, Pd, Pb, P, Ni, Nb, Mo, Mn, Mg, K, Fe, Cu, Cr, Co, Cl, Cd, Ca, Bi, Ba, Au, As, Al y Ag en 337 muestras tomando intervalos cada diez metros, de los cuales los más importantes para nuestro estudio, tales como Silicio, Aluminio, Calcio y la relación Si/Al, fueron volcados dentro del *software IP*; en donde se observan claras relaciones entre el DRX de cuarzo con el FRX de silicio, la calcita con el calcio y las arcillas con el aluminio. (Figura7)

Teniendo en cuenta los valores de FRX de los elementos más significativos para nuestro estudio (Ca, Al, Si); y promediando los valores por miembro de la formación Palermo Aike, se llevaron a cabo los siguientes gráficos (Figuras 29 y 30):

Miembro Inferior	Promedio	Miembro Medio	Promedio
Calcio	35933,75	Calcio	79103,08
Aluminio	37053,38	Aluminio	30821,6
Silicio	237289,56	Silicio	219131,66

Miembro Superior	Promedio
Calcio	17279,53
Aluminio	36048,68
Silicio	235826,25

Figura 29. Promedios de FRX para los miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike.

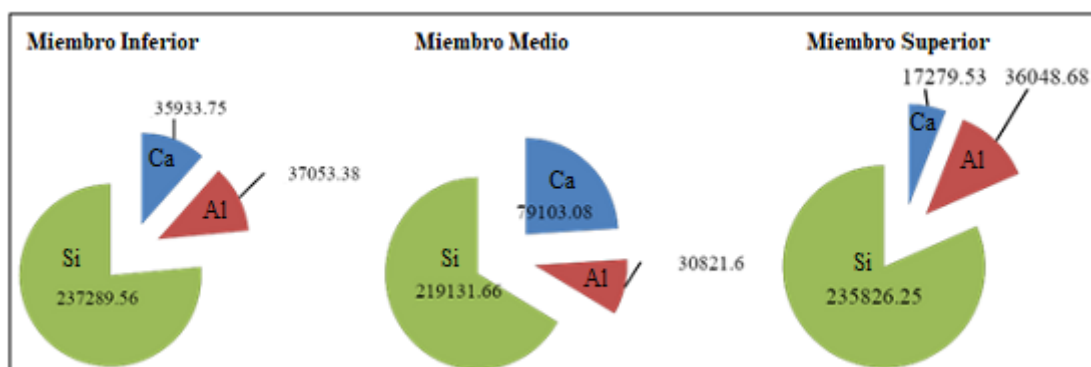


Figura 30. Gráficos de torta que representan los diferentes promedios de FRX para los miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike.

Además se realizaron correlaciones entre los FRX y DRX de Silicio vs. Cuarzo (Figura 31), Aluminio vs. Arcillas (Figura 32), y Calcio vs. Calcita (Figura 33). Los diagramas representan una correlación aceptable entre los FRX y los DRX, lo cual apunta a que podría tomarse al FRX como un parámetro alternativo al momento de necesitar hacer determinaciones de DRX, ya que la toma de datos con el equipo de FRX es fácil, rápida y tiene menor costo que llevar a cabo mediciones de DRX en laboratorio.

Dichas correlaciones se ven representadas en los siguientes diagramas *XPLLOT*:

XPLLOT Silicio vs. Cuarzo

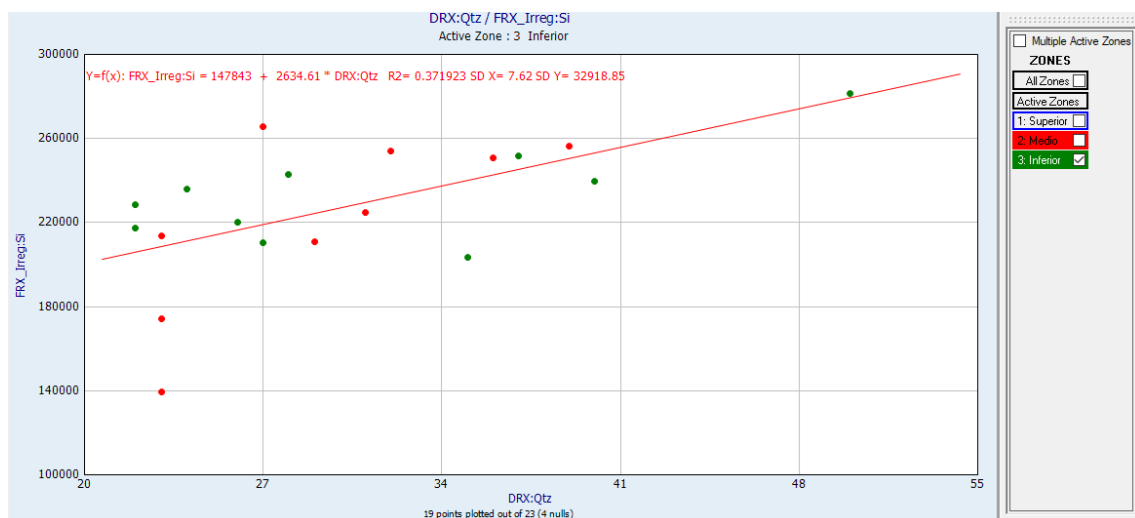


Figura 31. Diagrama XPLLOT que correlaciona valores de Silicio vs Cuarzo.

XPLOT Aluminio vs. Arcillas

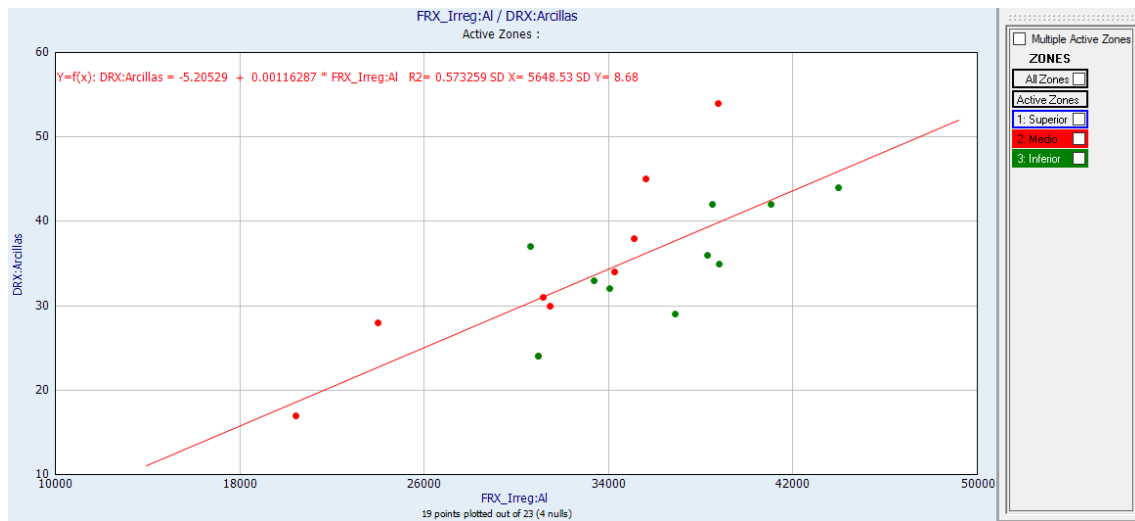


Figura 32. Diagrama XPLOT que correlaciona valores de Aluminio vs Arcillas.

XPLOT Calcio vs. Calcita

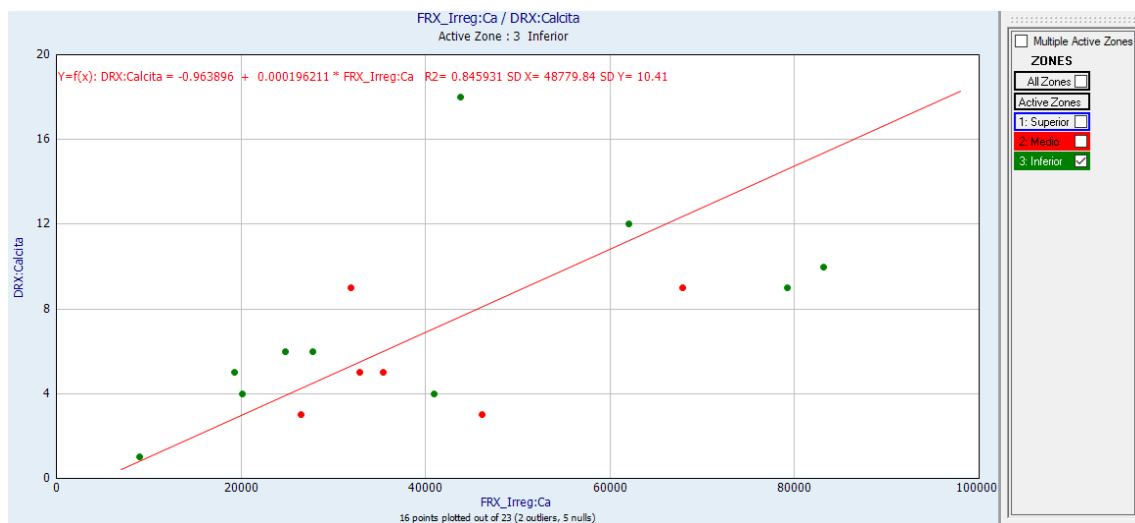


Figura 33. Diagrama XPLOT que correlaciona valores de Calcio vs Calcita.

GEOMECÁNICA

Evaluación mecánica de la roca con respecto a sus diferentes miembros y/o secciones (Inferior, Medio y Superior); y comparación con análogos de Estados Unidos; tanto de la formación Palermo Aike (subsuelo) como de la formación Río Mayer (afloramiento), teniendo en cuenta los porcentajes de DRX de arcillas, carbonatos (calcita + dolomita) y silicatos (cuarzo + feldespatos).

De acuerdo a los puntos graficados en el diagrama triangular (Figura 34) se puede tener una visión más clara con respecto al comportamiento mecánico de la formación Palermo Aike. Estos puntos representan los diferentes miembros de la formación, siendo en su mayoría los puntos de color rojo, pertenecientes al miembro Superior, los que caen dentro de la Zona de Transición Frágil - Dúctil. Por otra parte, los puntos azules y verdes, correspondientes a los miembros Inferior y Medio, respectivamente; en su mayoría se sitúan por fuera de la Zona de Transición propiamente dicha, con una predominancia en los valores cuarzo-feldespáticos con respecto a las arcillas y a los carbonatos.

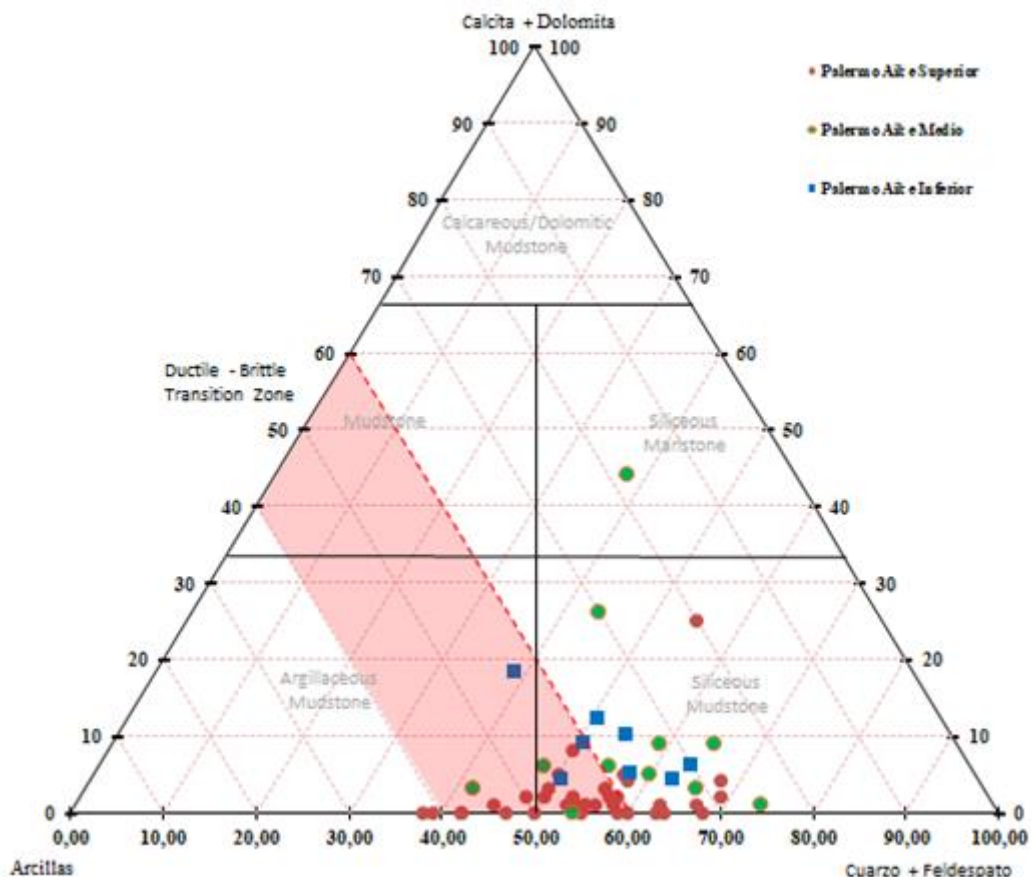


Figura 34. Diagrama triangular que representa los diferentes valores de arcillas, carbonatos y silicatos de los miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike.

Como se observa en el triángulo de la Figura 35, la mayor cantidad de las composiciones de la formación Palermo Aike contienen porcentajes muy bajos de carbonatos, con mayores contenidos principalmente de silicatos (cuarzo + feldespatos) y luego de arcillas. Tanto los miembros Inferior y Medio como Superior se agrupan en puntos que caen, en su mayoría, dentro del círculo que engloba el área perteneciente a “*Barnett*”. Dentro de dicha área, es considerable la presencia de puntos de color azul, los cuales corresponden al miembro Inferior de la formación Palermo Aike, por lo que, para tener otra mirada interesante con respecto a esta formación, se puede hacer una analogía con la formación *Barnett*.

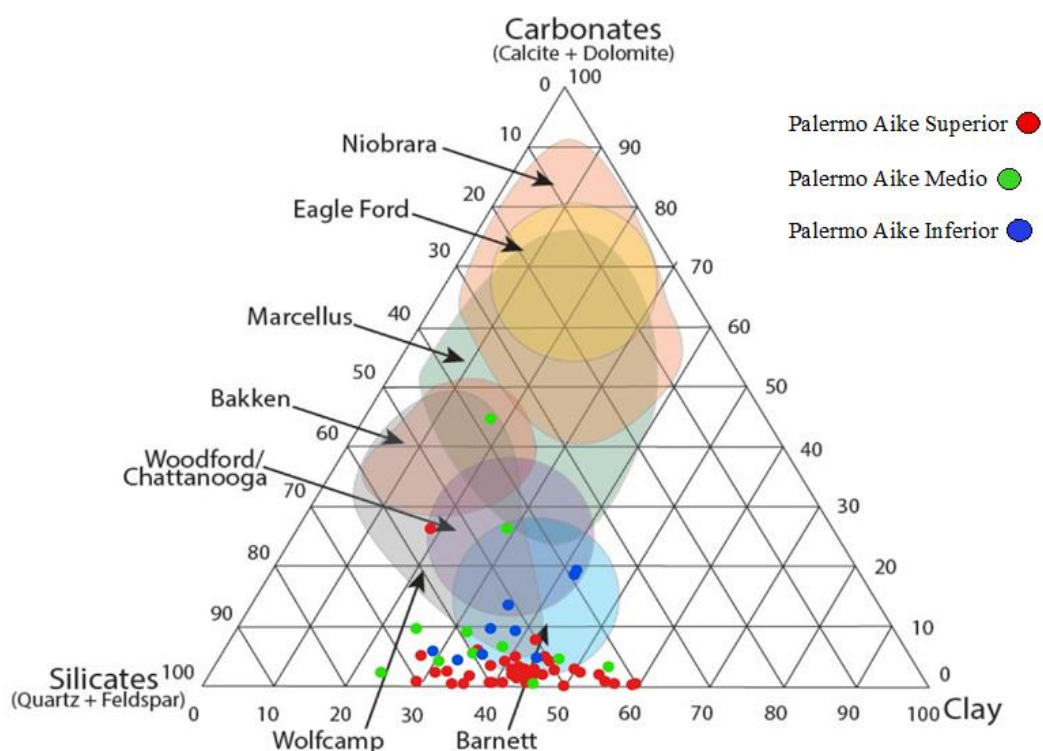


Figura 35. Diagrama triangular que representa los diferentes valores de silicatos, carbonatos y arcillas de los distintos miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike, englobados en áreas pertenecientes a diversos shales de EE.UU.

Barnett Shale es una formación geológica situada en la cuenca *Worth Fort, Texas, Estados Unidos*; la cual consiste en rocas sedimentarias del Mississippiano (354–323 m.a.), y que cubre cerca de 8000 km², entre 6500 y 7000 pies de profundidad. Dicha formación está constituida por depósitos de organismos marinos, de edad mississippiana, que yacen en inconformidad sobre una roca ordovícica (*Viola Limestone del grupo Ellenburger*). Posee un espesor de entre 80 y 250 metros en el núcleo, en el yacimiento *Worth Fort*. Este núcleo presenta algunas fisuras naturales y se encuentra sobrepresurizado, lo que ocasiona un crecimiento complejo de una fractura hidráulica inducida.

Con respecto a la formación Río Mayer, la misma no representa claras comparaciones entre sus secciones Inferior, Media y Superior para con las diferentes formaciones de *Estados Unidos*, ya que la mayor concentración de puntos no se sitúa dentro de ningún área determinada en el diagrama triangular (Figura 36). La ubicación de dichos puntos, tanto de las secciones Inferior, Media y Superior, demuestran que la formación Río Mayer composicionalmente contiene elevados porcentajes de silicatos y en menor medida carbonatos, con muy bajos valores de arcillas; lo cual podría arribar a la conclusión de que los datos de afloramiento podrían pertenecer a un borde de cuenca.

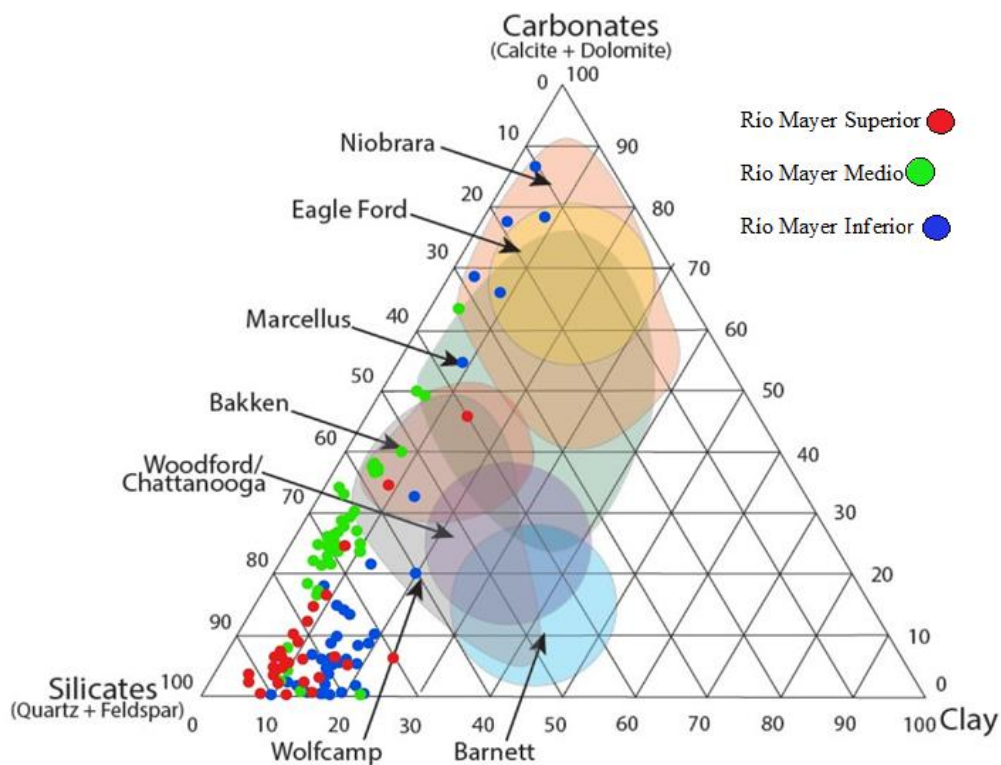


Figura 36. Diagrama triangular que representa los diferentes valores de silicatos, carbonatos y arcillas de los distintos miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike, comparados con áreas pertenecientes a diversos shales de EEUU.

Comparaciones entre afloramiento (Fm. Río Mayer) y subsuelo (Fm. Palermo Aike):

<u>Datos</u>	<u>Sección/ Miembro</u>	<u>Afloramiento</u>	<u>Subsuelo</u>
<u>Litología</u>	Superior	Rocas silíceas color negro masivas, rocas fangosas con intercalaciones de arena de grano muy fino a grano fino y conglomerados menos frecuentes	Arcilitas en base y techo, además limoarcilita, areniscas, y carbonatos en menor medida
<u>Litología</u>	Medio	Rocas negras intensamente bioturbadas y rocas fangosas silicodásticas	Es predominante la intercalación de arcilitas y margas
<u>Litología</u>	Inferior	Lutitas negras laminadas con niveles de marlstone	Predominancia de arcilitas a lo largo de toda la formación; con intercalaciones mayormente de calcáreos y en menor medida tufitas, margas y areniscas

Figura 37. Tabla que compara las litologías de las diferentes secciones y/o miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Río Mayer con la formación Palermo Aike.

<u>Datos</u>	<u>Sección/ Miembro</u>	<u>Afloramiento</u>	<u>Subsuelo</u>
<u>Bioestratigrafía</u>	Superior	Condritas, Ophiomorpha, Palaeophycus y Zoophycos asociados con fragmentos de madera transportada que contienen teredolitas	Gyroidionoides soldanii, Signomorphina sp., Anomalinoidea pinguiglabra Spiroplectamina, Alabama australis, Rugoglobigerina sp. Lenticulina praegaultina, Valvulineria fueguina, Novocythere santacruziana
<u>Bioestratigrafía</u>	Medio	Ichnofacies de Zoophycos que consisten en Bergaueria, condritas y Zoophycos ichnogenera. Belemnites	Hedbergella delrioensis, Globigerinelloides gyroidinaeformis, Tritaxia gaultina
<u>Bioestratigrafía</u>	Inferior	Ammonites y Belemnites	Lenticulina nodosa, Astacolus gibber, Globulina inflata, Saracenaria compacta

Figura 38. Tabla que compara la bioestratigrafía de las diferentes secciones y/o miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Río Mayer con la formación Palermo Aike.

<u>Datos</u>	<u>Sección/ Miembro</u>	<u>Afloramiento</u>	<u>Subsuelo</u>
<u>Edades</u>	Superior	Hauteriviano - Albiano	Albiano - Maastrichtiano
<u>Edades</u>	Medio	Valanginiano - Hauteriviano	Aptiano-Albiano
<u>Edades</u>	Inferior	Berrasiano temp – Valanginiano temp	Valanginiano Sup - Hauteriviano

Figura 39. Tabla que compara las edades de las diferentes secciones y/o miembros Inferior, Medio y Superior de la formación Río Mayer con la formación Palermo Aike.

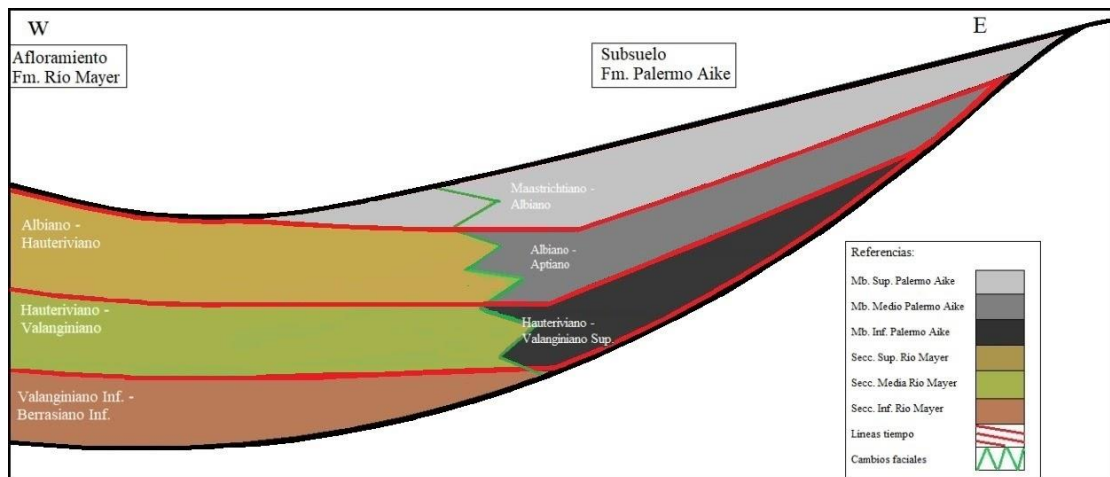


Figura 40. Modelo esquemático que representa principalmente las diferencias de edades que existen entre los distintos miembros y secciones de las formaciones Palermo Aike y Río Mayer, respectivamente. Logra observarse que en el ámbito del subsuelo de la formación Palermo Aike, al este de la cuenca, las edades son más jóvenes, comenzando desde el Valanginiano superior; en relación a las edades que poseen las secciones de la formación Río Mayer, las cuales datan desde el Berrasiano inferior y afloran en el sector oeste de la Cuenca Austral.

CONSIDERACIONES FINALES

Las arcillitas y limoarcillitas correspondientes al miembro Inferior, Medio y Superior de la formación Palermo Aike fueron evaluadas en laboratorio desde el punto de vista geológico, geoquímico y geomecánico para caracterizar y definir su potencial como recursos prospectivos no convencionales en la Cuenca Austral.

Los sistemas petroleros convencionales pueden modelarse a través del clásico sistema petrolero, pero cuando se trata de reservorios no convencionales se observa que los mismos no aplican todas las definiciones del sistema petrolero convencional; o bien deberíamos pensarlos como pequeños sistemas petroleros acoplados en diferentes escalas, en donde existen pequeños niveles generadores, pequeños niveles almacén y pequeños niveles sello asociados a cortas migraciones del orden de centímetros o pocos metros. Es por esto que es necesario poder definir la ciclicidad o el patrón de apilamiento que tienen estos niveles para poder identificarlos y ubicarlos. Existen diferentes técnicas de laboratorio que nos permiten definir cada uno de estos niveles en detalle para poder comprender, y de esta manera, predecir dónde se podría alojar el hidrocarburo. Esto, además, tiene la complejidad que en los potenciales niveles almacén o “mineralizados” el hidrocarburo no tiene la capacidad de fluir naturalmente, por lo que es necesario generar una red de drenaje artificial a través de fractura hidráulica (la cual configura la mitad o más de la mitad de los costos del pozo); por lo tanto se requiere hacer fracturas lo más eficientes posibles, para lo cual debemos conocer o aproximarnos a la mecánica de ese nivel almacén.

Poder hacer una caracterización pormenorizada de la roca y entender cómo funcionan esos “mini-sistemas petroleros” permitirá ser más efectivos al momento de definir *landing zones* o potenciales niveles a fracturar.

La ventana de generación de petróleo comienza a una profundidad aproximada a los 2100 metros (miembro Superior), en la transición entre la plataforma y el talud de la cuenca para este sector. La ventana de generación de gas húmedo es alcanzada a una profundidad del orden de los 3500 metros (Fm. Springhill), mientras que la ventana de gas seco comienza alrededor de los 4300 metros en la parte más profunda de la cuenca, y se extiende en la región andina, tectónicamente invertida, en donde en algunos sectores se presenta sobremadura.

Los niveles generadores en general están sobrepresionados ya que no existe porosidad conectada que permite disipar las presiones que se generan al transformarse la materia orgánica. Esta sobrepresión se la reconoce en los perfiles sísmicos de los pozos que la atraviesan por un fuerte incremento en el tiempo de tránsito.

Para tener una idea clara sobre la geoquímica orgánica de la formación Palermo Aike, se tomaron como base tres parámetros de gran importancia: COT, tipo de querógeno, y madurez.

Se logró determinar que el COT varía entre 0,5 - 2%, pudiéndose efectuar comparaciones con distintos *shales* de EEUU como *Lewis Shale* (0,5 - 2,5%), *Haynesville Shale* (0,5 - 4%) y *Woodford Shale* (0,5 - 1%).

En cuanto al tipo de querógeno generador (el cual conocemos mediante datos bibliográficos) es de tipo II a II-III. Este parámetro nos indica que el fluido que generará la formación principalmente será gas. Al momento de realizar comparaciones con querógenos de diversos *shales* de EEUU, se observa que los *shales Marcellus, Fayetteville* y *Lewis* son los más parecidos a la formación Palermo Aike.

La madurez térmica se analizó a partir de datos y gráficos de T Máx., Reflectancia de Vitrinita e Índice de Coloración de Esporas, en función de la profundidad del pozo. Se determinó que la formación Palermo Aike está en condiciones de maduración dentro de la zona de estudio.

En el presente TFL no se hicieron específicamente estudios geomecánicos porque se trabajó exclusivamente con *cutting*, pero observando los triángulos mineralógicos se evidencia que el comportamiento dúctil-frágil de la roca está gobernado por las variaciones en la proporción de arcillas y silicatos, siendo los porcentajes de carbonatos muy bajos. En general se trata de rocas que están en el límite del comportamiento dúctil - frágil según donde se sitúan en el triángulo dado su porcentaje de arcillas.

De esta manera se pueden establecer similitudes con *Barnett Shale, EEUU*; la cual se trata de un sistema típico de *shale gas*, donde los estratos de la formación fueron depositados en un ambiente de aguas profundas (cuenca tipo *foreland*) de baja energía. Es un reservorio de permeabilidad ultrabaja (entre 0.0005 y 0.00007 mD), naturalmente fisurado.

Por otra parte, al observar el triángulo mineralógico de la formación Río Mayer se puede ver que el comportamiento dúctil-frágil de la roca está gobernado por las variaciones en la proporción de silicatos y carbonatos, siendo muy bajos los porcentajes de arcillas; esto podría explicarse tomando en cuenta que estos depósitos corresponden a sectores proximales de la cuenca previo a la deformación de la misma. Paleoambientalmente hablando podría significar que se encuentran en una zona más proximal, alejados del centro de cuenca.

Resulta fundamental destacar la importancia de los recortes de perforación (*cutting*) como muestras que nos brindan datos para una aproximación a cuáles sectores pueden identificarse como considerables para la adquisición de mejor información (coronas).

Se correlacionaron tres zonas, sugeridas por la publicación de Belotti (*Lower Hot Shale, Hot Shale* y *Upper Hot Shale*) con los datos de subsuelo; y, de esta manera, se proponen potencialmente cinco niveles para analizar con profundidad, para definir cuál o cuáles serían los óptimos ante una eventual propuesta de pozo horizontal.

BIBLIOGRAFÍA

Belotti, H., Rodriguez, J.F., Conforto, G.A., Pagan, F., Perez Mazas, A., Agüera, M., Porras, J., Köhler, G., Weiner, G., Cagnolatti, M., Conforto, G., 2013. Geologic interpretation and assessment of early cretaceous shale oil and Gas potential in Austral Basin, Santa Cruz, Argentina. In: Unconventional Resources Technology Conference, Denver, Colorado, USA, August 2013.

Belotti, H., Pagan, F., Rodriguez, J.F., Perez Mazas, A.M. – 18 pág. “La Formación Palermo Aike como reservorio no convencional en la Cuenca Austral, provincia de Santa Cruz, Argentina”. Conference Paper. Noviembre 2014.

Belotti, H., Rodriguez, J.F., Conforto, G.A., Pagan, F. (YPF S.A.),
Perez Mazas, A.M., Agüera, M., Porras, J., Köhler, G., Cagnolatti, M., Weiner, G., Nigro, E. | Petrobras Argentina S.A.; Cangini, A. | CGC S.A.

LA FORMACIÓN PALERMO AIKE COMO RESERVORIO NO CONVENCIONAL EN LA CUENCA AUSTRAL, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA.

IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mendoza, Noviembre 2014.

Bridle, K. Uliana, M., Mitchum Jr., R., Fitzgerald, M., Wright, R., 1986. The stratigraphic and structural evolution of central and eastern Magallanes Basin, Southern America.

Franzese, J., L. Spalletti, I. Gomez Perez, D. Macdonald, 2003, Tectonic and paleoenvironmental evolution of Mesozoic sedimentary basins along the Andean foothills of Argentina, Journal of South American Earth Sciences 16, p. 81-90.

Poiré, D.G., Iglesias, A., Varela, A. N., Richiano, S., Mejía Ibañez, M., Stroemberg, C., 2017. Edades U-Pb en zircones de tobas de la Fm. Piedra Clavada, provincial de Santa Cruz,

Argentina: un marcador albio tardío para la evolución tectónica y biológica de la Cuenca Austral. In: Actas del XX Congreso Geológico Argentino TU-S15, pp. 95-98.

Richiano, S., 2012. Sedimentología e Icnología de la Formación Río Mayer, Provincia de Santa Cruz, Argentina. Universidad Nacional de La Plata (PhD thesis).

Richiano, S., A. N. Varela, A. Cereceda and D. Poiré, 2012. Evolución Paleambiental de la formación Río Mayer, Cretácico inferior, Cuenca Austral, Provincia de Santa Cruz, Argentina, *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, Vol. 19 (1), p. 3-26.

Richiano, S., 2014. Lower Cretaceous anoxic conditions in the Austral Basin, southwestern Gondwana, Patagonia Argentina, *Journal of South American Earth Sciences* 54 (2014), p. 37-46.

Richiano, Varela, Gómez-Peral, Cereceda, Poiré. 2015. Composition of the Lower Cretaceous source rock from the Austral Basin (Río Mayer Formation, Patagonia, Argentina): Regional implication for unconventional reservoirs in the Southern Andes. Elsevier Ltd.

Richiano, S., 2015. Environmental factors affecting the development of the *Zoophycos* icnofacies in the Lower Cretaceous Río Mayer Formation (Austral Basin, Patagonia). *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*. Vol. 439, 1 de diciembre de 2015, páginas 17-26. Contributions of ichnology to palaeoecology, palaeogeography and sedimentology. <http://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.03.029>.

Rodriguez J.F., Miller, M., Cagnolatti, M. – 31pág. Cuenca Austral – Simposio Sistemas Petroleros VIII –Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos).

Zilli, Pedrazzini, Peroni.- 54 pág. Capítulo III – La Cuenca Austral. Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino. El Calafate, III-3:607-662. Buenos Aires, 2002.

ANEXO

Metodología en laboratorio:

Teniendo en cuenta los recortes de perforación del pozo, se llevaron a cabo las mediciones de:

-Fluorescencia de Rayos X (FRX): haciendo uso del equipo de FRX y aplicando las respectivas técnicas de funcionamiento, logramos obtener los datos necesarios para el posterior análisis de las muestras.

El FRX es una técnica que entra en auge con el advenimiento de los no convencionales, ya que al ser las partículas muy pequeñas, con esto podemos hacer un análisis químico, expeditivo, sin dañar la muestra, rápido, que permite ver variaciones químicas en zonas donde el ojo no toma diferencias, sirve principalmente para ver variaciones en los elementos terrígenos, (Si, Al, Zr, Ti) variaciones en elementos asociados a la productividad carbonática (Ca, Sr) y para ver Redox sensitivos (Mo, V, S, Cu, Ni) o elementos que nos indiquen variaciones de anoxia.

La *Fluorescencia de Rayos X* es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de Radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de Radiación X. Esta radiación incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, Radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados, y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra.

La FRX tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y el uranio (U) de muestras sólidas, como por ejemplo rocas.

Se utilizan analizadores de FRX portátiles y de mano para mediciones no destructivas, y análisis elemental en una amplia gama de aplicaciones. Estos sistemas se usan habitualmente para obtener una rápida inspección y análisis de control de calidad; se cumplen las especificaciones para garantizar la química del producto, siendo ligeros y fáciles de usar, y brindan un análisis en cualquier tipo de entorno.



Analizadores de FRX.

En geología, son valiosos para la exploración, ofreciendo un rápido análisis químico de rocas, recortes de perforación y núcleos, que se pueden utilizar, entre otros, para identificar formaciones y determinar la composición mineral de las rocas.

Los usuarios pueden inferir propiedades mineralógicas favorables en la producción de petróleo y gas, a partir de datos recopilados en tiempo real.

El análisis en tiempo real con analizadores FRX portátiles también es una buena forma de precalificar muestras para análisis de laboratorio fuera del sitio, para garantizar que solo se evalúen las muestras que se ajusten a los objetivos del estudio.



Analizador de FRX portátil.

-Susceptibilidad Magnética (SM)

La SM es una propiedad física de cada mineral que está relacionada con el origen y la formación del mismo. Dicha magnitud es fácilmente medible.

En este caso se midió cada muestra en función de la profundidad del pozo.

Para medir dicha propiedad en las muestras de *cutting*, se hizo uso de un equipo de SM en laboratorio, con el cual se obtuvieron los datos necesarios para su posterior estudio.

La mayoría de los minerales formadores de roca exhiben una SM muy baja y las rocas deben su carácter magnético a la proporción generalmente pequeña de minerales magnéticos que contienen. El mineral magnético más común es la magnetita.

La susceptibilidad de las rocas es extremadamente variable y puede haber una superposición considerable entre las diferentes litologías. Las rocas sedimentarias son comúnmente no magnéticas a menos que contengan una cantidad significativa de magnetita en la fracción mineral pesada.

Estas anomalías magnéticas generalmente son causadas por un basamento ígneo o metamórfico subyacente, o por intrusiones en los sedimentos; como por ejemplo diques, fallas, pliegues, flujos de lava, intrusiones masivas básicas, rocas metamórficas de basamento y/o cuerpos que contienen magnetita.

Las ventajas de utilizar este equipo son su rapidez para tomar datos, no es destructivo, mide en todo tipo de muestras y a varias escalas de trabajo, es portátil y fácil de usar. Ofrece una propiedad cuantitativa, que podemos usar tanto en muestras de subsuelo como afloramiento para correlación.



Equipos medidores de susceptibilidad magnética

Con respecto al funcionamiento del equipo, este genera un campo magnético de baja frecuencia e intensidad alrededor del sensor. Cuando la muestra se coloca cerca del sensor se registran los cambios producidos en el campo magnético y el equipo convierte a valores de susceptibilidad magnética las lecturas tanto positivas (minerales ferromagnéticos y paramagnéticos) como las negativas (minerales diamagnéticos).

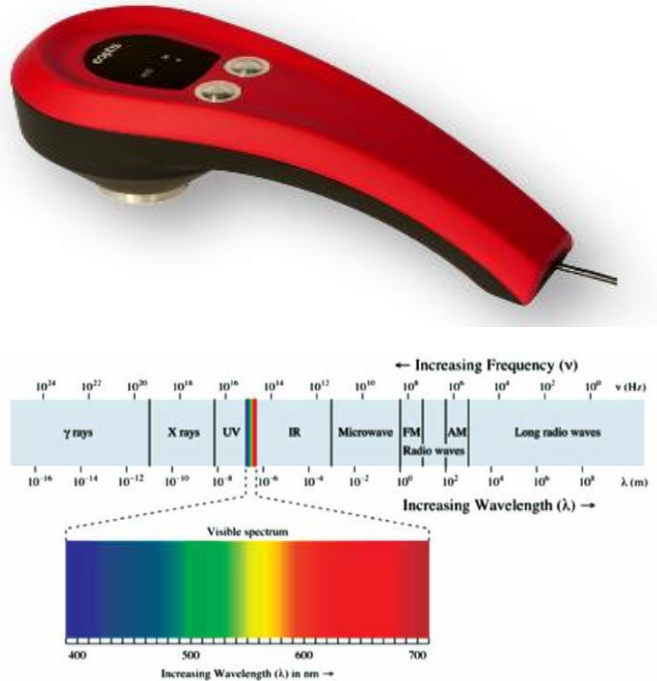
El factor que influye la SM es el comportamiento magnético de los minerales que componen la muestra (ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos).

Aplicaciones:

- Identificación de facies – Arenas y Pelitas (Arenas – Baja SM; Arcillas – Media SM)
- Identificación de zonas con TOC – Baja SM.

-Colorimetría de cada muestra en función de la profundidad del pozo.

Para medir esta propiedad en los recortes de perforación, se empleó en laboratorio un colorímetro, instrumento con el cual se obtuvieron los datos necesarios para su posterior interpretación.



Equipo medidor de colorimetría

Este equipo tiene como objetivo identificar las zonas con distinto grado de impregnación, para luego efectuar comparaciones; y posee las características y las ventajas de ser rápido y compacto, no destructivo, puede medir en todo tipo de muestras, es fácil de usar, se pueden realizar mediciones en distintos tipos de superficies/materiales, es 60 veces más preciso que el ojo humano, estandariza criterios de definición de color, y transforma el color en un parámetro numérico que puede observarse como color o como curva de datos.

Los factores que influyen el color son:

-Mineralogía

-Litología (tamaño de grano, cementación)

-Historia termal – Condiciones de P y T

-Generación de hidrocarburos

-Geoquímica (compuestos inorgánicos como sulfuros, etc., compuestos orgánicos como el TOC, condiciones *Redox* durante la depositación, y alteraciones químicas post-depositacionales como la diagénesis).

Aplicaciones:

- Correlación de facies y eventos
- Estimación de zonas con mayor TOC
- Cuantificación de la impregnación
- Revitalización de información en material viejo (*cutting* o corona)

-Difracción de rayos X (DRX)

La difracción en polvo es un método que permite identificar los minerales por su estructura cristalina. La utilidad de este método ha crecido y su campo se ha extendido con la introducción del difractómetro de rayos X.

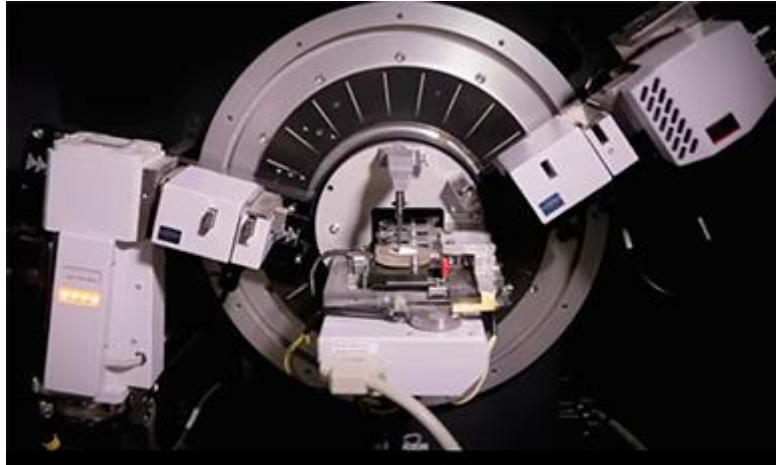
Esto es posible gracias a que los minerales son cristalinos y la distribución regular en el espacio de sus componentes se describe por medio de las redes cristalinas, que manifiestan la repetición periódica de la celda del mineral.

La descripción de la celda proporciona toda la información sobre la estructura cristalina del mineral.

Existen dos niveles de descripción de la celda:

- Los parámetros del paralelepípedo. Tres aristas (a, b, c) y tres ángulos (α , β , γ)
- Disposición de átomos en la celda.

La difracción de polvo cristalino nos informa sobre estos dos niveles, por lo que nos permite distinguir minerales con redes similares.



Difracción de rayos X.

La muestra de mineral o de roca para análisis difractométrico se prepara reduciéndola a polvo fino, y se extiende sobre un portamuestras, usando una pequeña cantidad de aglomerante adhesivo. El resultado de la pulverización es la obtención de un número muy elevado de pequeños cristales, los cuales pueden reflejar los rayos X.



Diffractómetro de rayos X.

El instrumento para la medida del difractograma es el *difractómetro en polvo*. Está formado por una fuente de rayos X, un portamuestras montado sobre un goniómetro giratorio y un detector. El portamuestras, situado en posición, gira según la trayectoria de un haz colimado de rayos X, mientras que un detector de estos rayos, que se encuentra montado en un brazo, gira alrededor para captar las señales difractadas de los mismos.

Una vez que se obtiene el difractograma, el cual es un gráfico que en abscisas indica el ángulo de difracción y en ordenadas la intensidad correspondiente, y los datos de la muestra analizada, la identificación consiste en hallar en la base de datos el mineral cuyo difractograma corresponde. Como la base de datos de difracción en polvo contiene miles de entradas, es necesario utilizar un método sistemático. Actualmente, la mayoría de los laboratorios utilizan la identificación automática mediante software, que son proporcionados por los mismos proveedores de equipos de difracción.