

Revista Científica y Tecnológica UPSE

Mineralogía y distribución de arcillas en las formaciones productoras Naricual y Oficina de la Cuenca Oriental de Venezuela

Mineralogy and distribution of clays in the Naricual and Oficina Formations from the Eastern Venezuela Basin

Marllelis Gutiérrez-Hinestroza^{*1}, Sadi Iturralde¹, Edison Brito¹, Gilda Rubira-Gómez¹, Yolanda Limones-Borbor¹.

¹Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.



Resumen

Las formaciones Naricual (Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano) y Oficina (Mioceno) pertenecientes a la Cuenca Oriental de Venezuela, son de importancia económica por la cantidad de arenas productoras de hidrocarburos que contienen. Sin embargo, ha tenido lugar una disminución acelerada de la producción en los campos de esta cuenca, ocasionada por varios factores, entre ellos los asociados con la migración de finos en los intervalos productores y a los daños de formación generados por la presencia de diferentes minerales de arcilla. El propósito de este trabajo es determinar la composición y distribución de las fases mineralógicas presentes en las arenas productoras de ambas formaciones, con el fin de establecer el potencial del daño que pueden generar los minerales de arcilla presentes en el flujo de fluidos durante la producción de petróleo. La caracterización mineralógica fue llevada a cabo mediante análisis petrográfico, Difracción de Rayos X (DRX), ensayos de disolución en ácidos y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB). La mineralogía de las muestras está gobernada por cuarzo, albita, calcita, dolomita, pirita y muscovita. La arcilla predominante es caolinita, aunque también se detecta en algunas muestras clorita, illita/esmectita y glauconita; el porcentaje de arcillas oscila entre 6 y 12 %, situándose el promedio en 6,8% para las areniscas de Naricual, y 7,2% para Oficina. Los resultados obtenidos constituyen un insumo fundamental al momento de orientar planes de acción orientados al aumento de la producción

Palabras clave:

daños de formación
minerales de arcilla
migración de finos
Venezuela

Abstract

The Naricual (Late Oligocene-Early Miocene) and Officinal (Miocene) formations belonging to the Eastern Venezuela Basin are of economic importance due to the high oil-bearing potential. However, an accelerated decrease in production in the fields of this basin, caused by several factors, among them those related with fines migration and the formation damages generated by the presence of different clay minerals. The aim of this work is to determine the composition and distribution of the mineralogical phases present in the producing sands in both formations, in order to establish the extent of the formation damage that the clay minerals can generate. The mineralogical characterization was carried out by petrographic analysis, X-ray diffraction (XRD), dissolution assays in acids and Scanning Electron Microscopy (SEM). The mineralogy of the samples is governed by quartz, albite, calcite, dolomite, pyrite and muscovite. The predominant clay is kaolinite, although chlorite, illite / smectite and glauconite were detected in some samples; the percentage of clays ranges between 6 and 12%, with an average of 6.8% for the Naricual sandstones, and 7.2% for Officinal. The results obtained constitute a fundamental input when orienting action plans aimed at increasing production.

Keywords:

Formation damage
clay minerals
fines migration
Venezuela

Recibido: octubre 10 de 2018 **Aceptado:** octubre 27 de 2018

Forma de citar: Gutiérrez-Hinestroza M. et al (2018). Mineralogía y distribución de arcillas en las formaciones productoras Naricual y Oficina de la Cuenca Oriental de Venezuela. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 5 (2), 73-81. DOI: 10.26423/rctu.v5i2.421.

* Autor para correspondencia. marllelisg@hotmail.com

1. Introducción

La industria petrolera a nivel mundial realiza cuantiosas inversiones en estudios orientados a mejorar la producción y en la generación de propuestas operacionales que minimicen los daños que ocasionan las arcillas u otros minerales al flujo de fluidos en los yacimientos petrolíferos (Xiao et al, 2017), siendo ésta una de las características más relevantes en su estudio (Bjorlykke, 2010).

El sistema petrolero es un modelo dinámico que estudia las entradas de materia orgánica a la cuenca sedimentaria, su transformación, la generación de hidrocarburos y su acumulación en una trampa petrolera. Por tanto, el sistema petrolero está compuesto por una serie de subsistemas que deben estar concatenados en tiempo y espacio para que se forme una acumulación natural de petróleo en la corteza terrestre, susceptible de ser producida con rendimiento económico. (Chapman, 1983).

La movilización de finos puede afectar severamente la productividad de los pozos, y es una de las fuentes más costosas de daño a la formación. El fenómeno es complejo, pero está gobernado fuertemente por la mineralogía, permeabilidad, salinidad y cambios de pH, al igual que las fuerzas creadas por la velocidad de flujo, la turbulencia y la viscosidad del fluido (Gabriel e Inamdar, 1983; Galal et al., 2016). Las formaciones Naricual y Oficina, unidades productoras por excelencia en la Cuenca Oriental de Venezuela, no escapan de esta realidad.

La litología de la Formación Naricual (Oligoceno Tardío – Mioceno Temprano) se caracteriza por presentar un alto grado de cementación; sin embargo para la Formación Oficina (Mioceno) la cementación de las areniscas productoras varía desde pobre a moderada consolidación. (González de Juana et al., 1980).

El propósito del presente estudio es establecer la composición mineralógica general de las areniscas de los intervalos productores de las formaciones Naricual y Oficina, su variabilidad y en particular, la proporción y composición de los minerales de arcilla presentes en ambas unidades, haciendo uso de metodologías complementarias (Difracción de Rayos X –DRX-, disolución parcial con ácidos, y Microscopía Electrónica de Barrido –MEB-). Los resultados a obtener permiten apoyar la generación de propuestas operacionales que minimicen los daños que ocasionan las arcillas u otros minerales al flujo de fluidos en los yacimientos y en la predicción del comportamiento de producción.

2. Geología del área de estudio

La Cuenca Oriental de Venezuela se encuentra limitada al norte por la Cordillera de la Costa, al sur por el Río Orinoco, al este por la plataforma del Delta del mismo río y al Oeste por el Lineamiento del Baúl.

Presenta una dirección general este- oeste, mide unos 700 km de largo por unos 220 km de ancho, con una superficie aproximada de 153.000 km² y un volumen total de sedimentos, desde el Eoceno hasta el Holoceno, de alrededor de 310.000 km³ (González de Juana et al., 1980).

Esta cuenca cuenta con 32 campos gigantes, recursos de 100 millones de barriles cada uno y 260 campos menores. El número de pozos perforados hasta el año 1977 es de 11.841 y cuenta con más de 3300 pozos activos. Además esta cuenca ha sido subdividida operacionalmente en dos subcuencas: la de Guárico y la de Maturín (Rojas, 2013) (Fig. 1).



Figura 1. Ubicación y extensión de la Cuenca Oriental de Venezuela, y de las subcuencas de Guárico y Maturín.

Subcuenca de Guárico

Esta subdivisión comprende los campos del estado Guárico y parte del norte del estado Anzoátegui. El flanco norte de la subcuenca se encuentra asociado al frente de deformación donde se ubica el sistema de fallas de Guárico, el cual sobrecarga rocas cretácicas y terciarias produciendo un marco tectónico complejo (González de Juana et al., 1980). Hacia el sur, la estructura es más sencilla, con evidencias de depresiones estructurales en las que se conservaron rocas jurásicas y paleozoicas, y con un acunamiento de las secuencias cretácicas y terciarias (Fig. 2) en la misma dirección. Las principales trampas son combinaciones de tipo estructural y estratigráfico, en los campos alejados del frente de corrimientos.

La roca madre principal (grupos Guayuta y Temblador) se supone sobrecorrida actualmente por el Frente de Deformación del Norte de Guárico. La generación está asociada al avance de las capas y lleva rápidamente a la ventana de gas por sobrecarga tectónica, por lo menos desde el Eoceno Tardío; de ahí que la principal acumulación al sur del Frente de Montañas sea de gas y no de petróleo líquido.

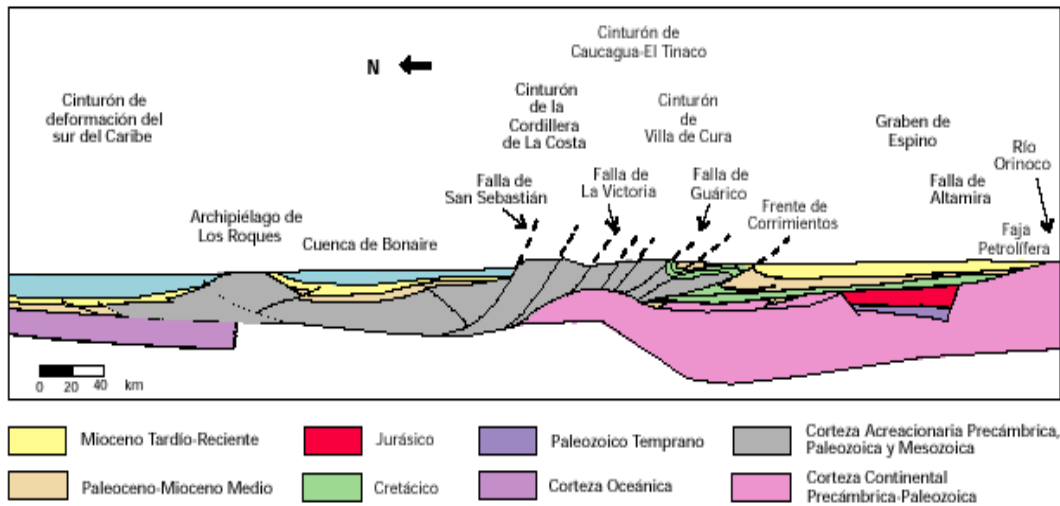


Figura 2. Corte Geológico conceptual Norte- Sur desde el cinturón de deformación del Caribe en Curazao hasta el Río Orinoco. (Schlumberger, 1997).

No obstante, se ha postulado una generación cercana a la edad de la formación de las fallas Mioceno Tardío en la región de Guárico Central, con características de materia orgánica de origen marino y distancia de migración cercana (LEV, 1999).

Los principales campos petroleros son, de oeste a este: Palacio, Las Mercedes, Yucal-EI Placer, Tucupido, El Jobal y Macoya; en especial, Yucal-EI Placer es un campo de gas por excelencia (figura 3).

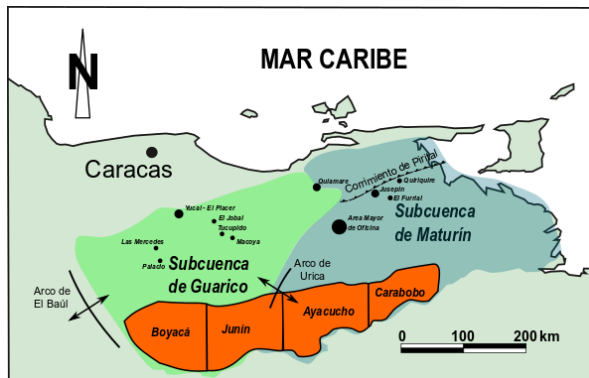


Figura 3. Subdivisión de la Cuenca Oriental de Venezuela en las dos subcuencas, algunos elementos estructurales que definen la cuenca, ubicación de los principales campos. En anaranjado, las áreas que conforman la Faja Petrolífera del Orinoco: Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo. Modificado de Schlumberger (1997).

Hacia el sur del Estado Guárico, las unidades cretácicas y terciarias se acuñan gradualmente, generando trampas estratigráficas y de sellos asfálticos en lo que se ha denominado la Faja del Orinoco, de yacimientos neógenos y cuya migración parece haber ocurrido no sólo de norte a sur, sino también de noreste a suroeste (Schlumberger, 1997).

Se supone que estos crudos de tipo nafténico- parafínico se originaron a partir de una roca madre cretácica, y su migración de decenas de kilómetros se vio favorecida por la discordancia basal del Terciario (Neógeno - Cretácico y Neógeno - Basamento). Los sellos lutíticos más importantes se encuentran dentro de las mismas unidades yacimiento, como Roblecito, Chaguaramas y Oficina; la trampa constituye combinaciones de tipo estructural (fallas extensionales) y estratigráficas (canales) (González de Juana et al, 1980; Polanco, 2004).

Subcuenca de Maturín

La Subcuenca de Maturín constituye la principal unidad petrolífera de la Cuenca Oriental. Podría afirmarse que la deformación estructural y los acuñamientos de las unidades estratigráficas hacia el sur definen dos dominios operacionales: uno al norte del Corrimiento de Piritál y otro al sur.

Para los campos del Norte de Monagas, la roca madre por excelencia debe haber sido cretácica (Grupo Guayuta), aunque no se descarta el aporte de secuencias más jóvenes con materia orgánica de afinidad continental (la superficie de la Formación Naricual es muy carbonosa, por ejemplo). Los yacimientos más importantes son de edad terciaria; en los campos del Norte de Monagas están constituidos por las formaciones Carapita, Naricual, Los Jabillos y Caratas.

3. Materiales y métodos

Proceso de selección de muestra

Las muestras utilizadas para el estudio provienen de núcleos de pozos de la Cuenca Oriental de Venezuela, los cuales atraviesan las formaciones en estudio, Naricual y Oficina respectivamente.

La selección de las mismas se realizó de manera aleatoria tomando como base de estudio cinco pozos por Formación. Para cada pozo se trabajó con tres profundidades diferentes, es decir, tres muestras por pozo; obteniendo así un total de 15 muestras a estudiar por Formación (Tabla 1).

Formación Naricual		Formación Oficina	
Muestra	Profundidad (pies)	Muestra	Profundidad (pies)
NAR-01(a)	16157' 4"	OF-01(a)	5671' 2"
NAR-01(b)	17024' 0"	OF-01(b)	6280' 1"
NAR-01(c)	18117' 8"	OF-01(c)	6450. 0'
NAR-02(a)	16411' 8"	OF-02(a)	6048' 11"
NAR-02(b)	17458' 3"	OF-02(b)	6391.6'
NAR-02(c)	18138' 10"	OF-02(c)	6455.7'
NAR-03(a)	16507' 2"	OF-03(a)	6069' 2"
NAR-03(b)	18087' 3"	OF-03(b)	6182.0'
NAR-03(c)	18179' 4"	OF-03(c)	6490' 2"
NAR-04(a)	16760' 7"	OF-04(a)	5917' 4"
NAR-04(b)	18101' 4"	OF-04(b)	6102' 1"
NAR-04(c)	18183' 0"	OF-04(c)	6550. 0'
NAR-05(a)	16791' 3"	OF-05(a)	5908.0 '
NAR-05(b)	18110' 9"	OF-05(b)	6173' 6"
NAR-05(c)	18197' 1"	OF-05(c)	6580.7"

Tabla 1.- Profundidad en pies de las muestras empleadas en el presente estudio, por formación productora.

Preparación de las muestras

Las muestras fueron sometidas a un proceso de limpieza previa con tolueno, a fin de eliminar residuos de compuestos orgánicos que puedan entorpecer las pruebas.

Una vez obtenida la muestra libre de residuos, se procedió a darle una preparación especial dependiendo del tipo de prueba a realizar.

Para el análisis por difracción de rayos X en muestra total se empleó la muestra debidamente pulverizada, homogeneizada en un mortero de ágata y tamizada a un tamaño menor de 200 micrómetros.

Adicionalmente, una alícuota de la muestra obtenida de la preparación anterior fue sometida a ultrasonido en agua destilada por 2 minutos para disgregar las partículas, para luego añadir como dispersante 1 mL de metafosfato sódico ($\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$); esta preparación fue centrifugada, y el sobrenadante fue filtrado en un sistema Millipore. Los sólidos recolectados en el filtro fueron frotados en tres láminas de vidrio para corridas en DRX, y secadas éstas en un horno a 50°C por 4 minutos.

La primera de las láminas fue empleada para correr arcillas generales; la segunda fue sometida a glicolación por métodos ya estandarizados (Reynolds, 1965; Mosser-Ruck et al., 2005). La última lámina fue llevada a una mufla a 450-550°C por 4 horas. Al término del tiempo establecido, fue llevada a un desecador hasta enfriamiento a temperatura ambiente. Las tres láminas, luego de culminado cada proceso, son posteriormente analizadas por DRX.

Para el estudio por MEB, las muestras fueron partidas para generar superficies frescas. Cada muestra fue montada en un soporte de aluminio y cubierta con una película delgada de una aleación de oro (Au) usando una unidad de cubrimiento Edwards Sputter Coater (5150B).

ENSAYOS DE DISOLUCIÓN EN ÁCIDO

Las muestras fueron disgregadas en un mortero individualmente, se usaron recipientes plásticos transparentes de 150 mL de volumen. Se utilizaron 2 recipientes por cada muestra, una para disolución con HCl al 12 % (m/v) y la otra para disolución con HCl y RMA (*Regular Mud Acid* TM SLB).

DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Las láminas de muestra total, y las láminas tratadas fueron examinadas en un difractómetro de Rayos X (Philips PW 1720), desde 2 a 70 grados, con un tubo emisor de Cobalto a 25 miliamperios y 35 kilovoltios. La velocidad de barrido para estas muestras fue de 2 grados por minuto, con una intensidad de 1000 conteos por segundo. Luego de transcurridos 35 minutos fue retirado el difractograma del registrador y se procedió a la identificación cualitativa de los minerales a través de curvas patrón. Por último, se calculó semi-cuantitativamente la relación de abundancia (porcentaje en peso) de cada una de las fases minerales identificadas.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Para el análisis por Microscopía Electrónica de Barrido se utilizó un equipo MEB (JSM 5800), y las muestras, debidamente metalizadas se analizaron utilizando un voltaje de 20kV y una magnificación entre 5 y 200µm. Los datos cualitativos elementales de las fases seleccionadas observadas durante el estudio MEB fueron obtenidos por medio del uso de una unidad conectada a un Espectroscopio de Rayos X de Energía Dispersa (Rayos X elementales; EDS) equipada con un detector de Si.

PRUEBAS DE DISOLUCIÓN

El porcentaje de carbonatos, arcillas y cualquier otro mineral soluble fue corroborado mediante el análisis de disolución en ácido clorhídrico al 15% y RMA (*Regular*

Mud Acid TM SLB). A todas las muestras se le agregó 100 mL de Ácido clorhídrico al 12 % (m/v) -cada muestra por duplicado- y se procedió tapar los recipientes con ENVOPLAST, luego se colocaron en baño maría por 1 hora a 110 °C.

Luego de reposar las muestras, se extrajo con la ayuda de una jeringa la mayor cantidad de ácido posible. Seguidamente el primer duplicado de cada una de las 30 muestras fueron filtradas en sistema de vacío, recolectando los sólidos en un papel filtro Millipore previamente pesado, colocado sobre un embudo.

Una vez filtradas las muestras se colocaron en vidrios de reloj y fueron llevadas al horno a temperatura de 50°C por 30 minutos. El segundo juego duplicado de cada muestra, se le agregó 100 mL de RMA (“*Regular Mud Acid*”), una mezcla de ácido fluorhídrico y clorhídrico) a cada una y fueron llevadas al baño de

maría por 1 hora; el filtrado siguió el mismo procedimiento que en el primer duplicado ya descrito.

Resultados

MINERALOGÍA

La mineralogía presente en las muestras se ha deducido del análisis petrográfico, los difractogramas y los resultados de los ensayos de disolución por ácidos. El estudio de láminas delgadas de las muestras estudiadas de la Fm. Naricual pone de manifiesto que se trata de areniscas líticas a calcarenitas, con contenido variable en cuarzo; en las muestras destaca el carácter lítico.

El cuarzo aparece en granos angulares, monocristalinos; en algunos casos se aprecia sobrecrecimiento (Fig. 4). Las rocas poseen cemento de calcita espática.

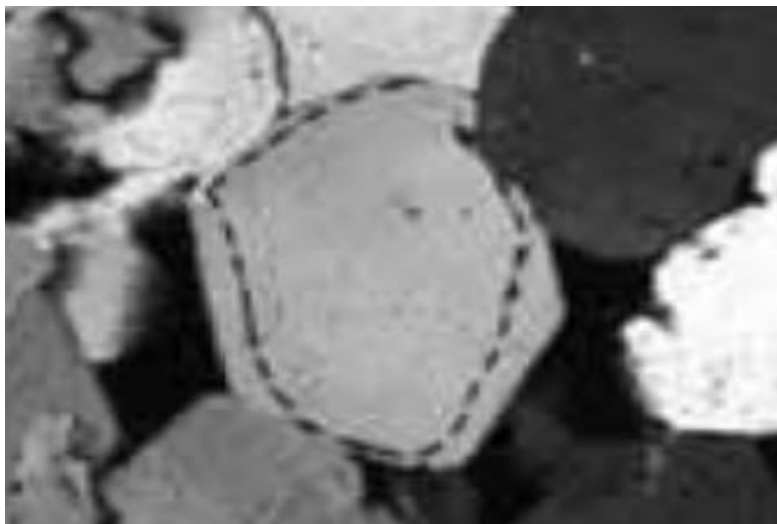


Figura 4: Sobrecrecimiento de cuarzo, muestra NAR-03(c).

En las muestras de la Fm. Oficina las areniscas lucen más friables, con cuarzo mono- y policristalino, angulosos, con abundantes nódulos sideríticos. A diferencia de las muestras de la Fm. Naricual, se puede apreciar feldespato potásico (microclino), parcialmente sericitizado; también aparece presente albita, accesorios como circón, y un mayor contenido de matriz arcillosa, en casi todas las muestras de Oficina.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La Tabla 2 muestra los minerales identificados, y su proporción relativa. Como datos más significativos resalta la presencia casi constante de piritita y la amplitud de composición que abarcan las muestras de esta secuencia.

La composición mineralógica determinada a través de DRX revela diferencias menores entre las areniscas de las dos unidades, confirmando así los hallazgos obtenidos por el estudio petrográfico preliminar.

Las areniscas de la Formación Naricual son más cuarzosas (algunas muestras son cuarzoarenitas), con

cemento calcáreo, presencia ocasional de glauconita, ausencia de microclino y clorita; por el contrario, las areniscas de la Formación Oficina poseen menor contenido de cuarzo, y revelan la presencia de microclino, illita/esmectita, circón y clorita, y un menor contenido de calcita y dolomita (Tabla 2).

Los ensayos de disolución en ácidos (HCl, RMA) son consistentes con la composición obtenida por difracción de rayos X.

La proporción total de minerales de arcilla en las muestras estudiadas oscila entre 0 y 14% en la Fm. Naricual, con una media de 6,8 %. Para las muestras de la Formación Oficina en cambio, los minerales de arcilla se encuentran entre 2 y 15%, con un promedio de 7,2%. La composición de las arcillas también varía entre ambas unidades, pues en la Fm. Naricual la caolinita es casi la única arcilla presente, mientras que en las muestras de la Fm. Oficina se detectan, además de la caolinita, clorita e illita/esmectita.

La representación de los promedios para cuarzo, carbonatos y arcillas en ambas unidades en el diagrama

triangular de la Figura 5 permite clasificar ambos conjuntos de muestras como ARENISCAS sensu stricto, entendiendo que entre ambas formaciones, los

conjuntos mineralógicos presentan sutiles diferencias composicionales que se revelan apareciendo ligeramente separados en el diagrama.

Tabla 2. Composición mineralógica determinada por DRX y % de disolución para las muestras de estudio. Las columnas sombreadas corresponden a los minerales de arcilla.

		qz	ab	mcl	py	cac	dml	sid	mus	kao	clt	il/sm	glc	zir	% solubles	
															HCl	RM A
NAR-01	(a)	79	4	-	3	5	-	3	-	6	-	-	-	-	10	19
	(b)	53	-	-	-	-	-	30	4	2	-	-	11	-	30	47
	(c)	81	-	-	3	-	4	-	-	12	-	-	-	-	5	17
NAR-02	(a)	84	-	-	4	5	-	-	-	7	-	-	-	-	7	14
	(b)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.d	n.d.
NAR-03	(a)	75	-	-	3	4	5	8	-	5	-	-	-	-	18	23
	(b)	84	-	-	3	-	5	-	-	8	-	-	-	-	7	15
	(c)	84	-	-	-	4	4	-	-	8	-	-	-	-	8	15
NAR-04	(a)	90	-	-	-	-	4	-	-	6	-	-	-	-	4	10
	(b)	90	-	-	4	-	-	-	-	6	-	-	-	-	2	8
	(c)	89	-	-	5	-	-	-	-	6	-	-	-	-	2	8
NAR-05	(a)	56	-	-	-	28	6	4	-	6	-	-	-	-	38	44
	(b)	92	-	-	-	-	4	4	-	-	-	-	-	-	8	8
	(c)	77	-	-	4	4	6	3	-	6	-	-	-	-	15	21
OF-01	(a)	78	-	4	4	8	-	-	-	5	-	1	-	-	10	16
	(b)	94	1	2	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	n.d	3
	(c)	95	1	1	-	1	-	-	-	2	-	-	-	-	1	3
OF-02	(a)	87	1	4	2	-	-	-	-	3	2	-	-	1	1	6
	(b)	75	3	2	1	3	-	2	-	12	-	2	-	-	5	20
	(c)	88	2	-	1	-	-	2	-	5	-	2	-	-	3	9
OF-03	(a)	82	5	-	-	3	3	2	-	4	1	-	-	-	7	13
	(b)	45	-	2	2	12	-	33	-	5	-	-	-	1	46	50
	(c)	82	-	3	2	-	-	-	-	11	-	2	-	-	1	14
OF-04	(a)	84	3	2	4	-	-	-	1	4	-	-	-	2	2	7
	(b)	72	-	1	2	1	1	8	-	14	-	1	-	-	11	26
	(c)	88	-	1	-	1	2	1	-	5	-	2	-	-	4	11
OF-05	(a)	85	1	1	2	2	-	1	-	7	-	-	-	-	3	11
	(b)	79	2	1	3	-	-	3	2	8	-	-	-	-	5	7
	(c)	81	-	2	-	-	-	-	-	6	-	1	-	-	n.d	4

qz= Cuarzo; ab= Albita; mcl= Microclino; py= Pirita; cac= Calcita; dml= Dolomita; sid= Siderita; mus= Muscovita; kao= Caolinita; clt= Clorita; il/sm= Illita/Esmectita; glc= Glauconita; zir= Círcón (Abreviatura de minerales según Avila, 1999).

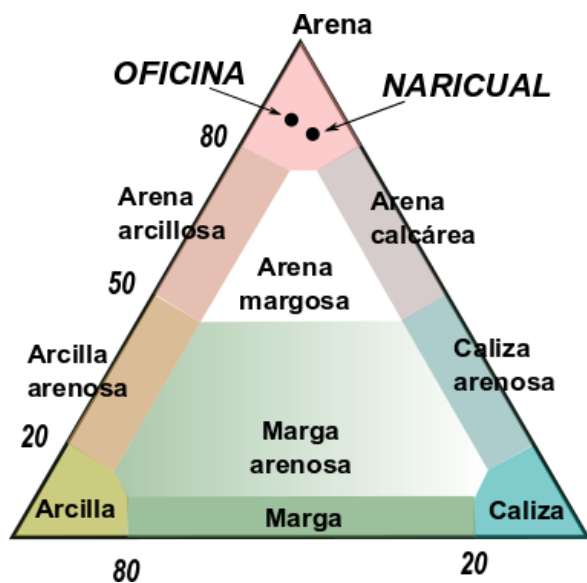


Figura 5: Ubicación de las rocas estudiadas en el diagrama de clasificación de las rocas sedimentarias de composición mixta (tomado de Pettijohn et al. (1987)).

Por otra parte, el análisis de los valores composicionales al ser graficados (promedios para ambas unidades) en el diagrama de clasificación de Pettijohn et al. (1987) permite ubicar las muestras de las formaciones de estudio en el campo formal de las arenitas, con un porcentaje de matriz menor al 15%, y específicamente, en las sublitarenitas (Figura 6).

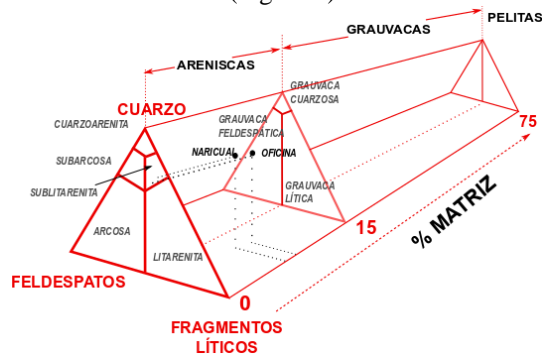


Figura 6: Ubicación de las unidades estudiadas en el diagrama de Pettijohn et al. (1987). Las arenitas estudiadas son formalmente sublitarenitas.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

A través de Microscopía Electrónica de Barrido pudo observarse aspectos morfológicos y de relaciones entre minerales, con hincapié en las arcillas.

Las micrografías de la Figura 7 corresponden a la muestra NAR-01(a) y revelan la morfología de los

granos de cuarzo en la arenisca, tamaño fino, sub-redondeados, moderadamente seleccionados con comunes formas euhedrales producto del crecimiento secundario. Los granos se observan en contacto longitudinal, y las arcillas aparecen muy dispersas. En la micrografía inferior, se magnifica en detalle una arcilla.

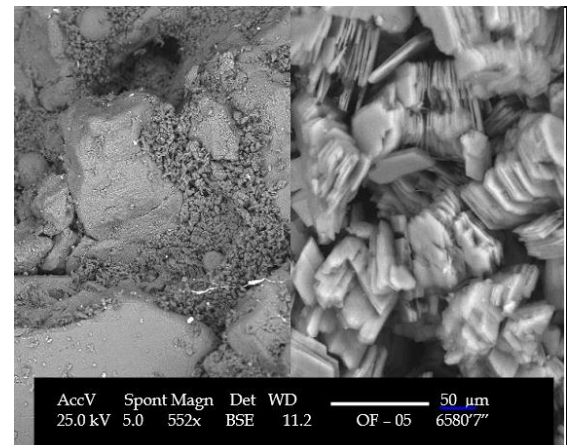
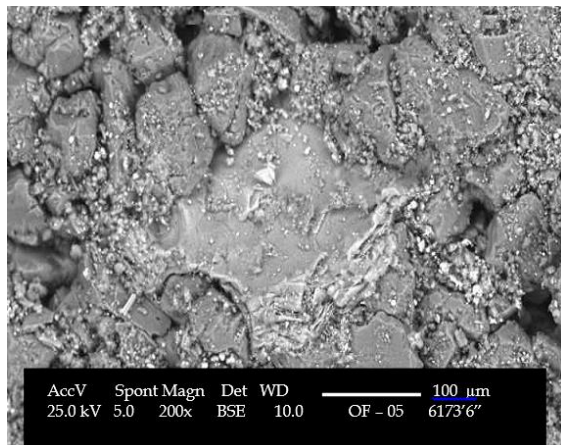
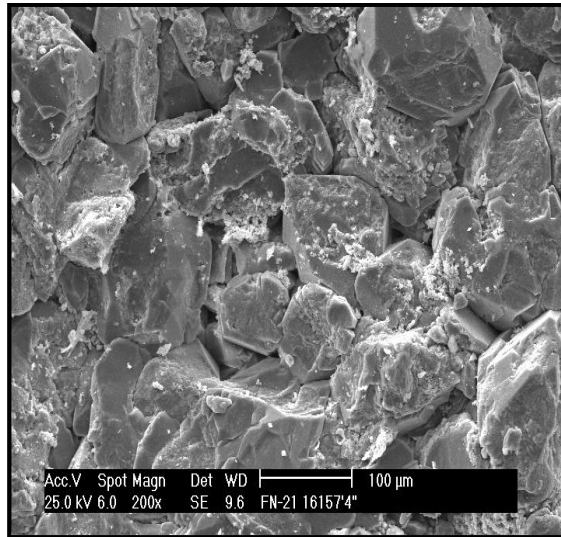


Figura 7: Imágenes de MEB en las muestras de estudio. Arriba, izquierda: Granos de cuarzo subangulares en la muestra NAR-01(b). Arriba, derecha: Detalle de una illita/esmectita en la misma muestra. Abajo, izquierda: Esta vista de alta magnificación corresponde a la muestra OF-05(b) y se aprecia una fracción de la roca que contiene minerales de arcilla, principalmente caolinita y su forma de platos sugiere formación sin sedimentaria. Abajo, derecha: Área con influencia de arcillas en la muestra OF-05(c), donde se puede observar los granos de arena con arcilla cubriendo los granos y rellenando poros. La caolinita es euhedral con buena morfología cristalina.

Se visualizan partículas ocasionales de feldespatos. Entre los accesorios se detecta ilmenita. La caolinita es el mineral de arcilla dominante. La illita está presente siempre, pero en menor proporción. Las arcillas aparecen recubriendo completamente todos los granos y rellenando todos los poros. Estas observaciones permiten aseverar que las arcillas presentes no son diagenéticas, sino formadas al momento de su depositación en el ambiente sedimentario que dio origen a la roca.

EFFECTO DE LA MINERALOGIA EN EL COMPORTAMIENTO DEL YACIMIENTO

La presencia de cantidades variables de minerales de arcilla en las rocas estudiadas, su origen principalmente singenético, así como la disposición de las mismas bordeando tanto granos de arena como los poros de la arenisca son claves para comprender el comportamiento de estas unidades productoras luego de un tiempo de producción. Las altas tasas de flujo de fluidos a través

de la unidad propician la movilización y redistribución de las arcillas débilmente asociadas al esqueleto de la roca, asentándose luego de su movilización en las gargantas de los poros e impidiendo el ulterior paso de fluidos.

Por otra parte, la proporción variable pero en general alta de minerales accesorios de composición ferrosa (presencia de Fe (II)) en varias partes de la columna sedimentaria, tanto de la Fm. Naricual (glauconita, pirita, siderita) como de la Fm. Oficina (siderita, ankerita, clorita) sugiere que el eventual uso de sistemas fuertemente oxigenados propiciará la formación de oxihidróxidos de hierro (III) –goethita y otras fases amorfas tipo ferrihidrita- que contribuirán negativamente al taponamiento de los poros por precipitaciones indeseadas.

El alto contenido de pirita en las muestras de ambas unidades también es perjudicial en los procesos de producción, sobre todo en recuperación secundaria, donde los fluidos oxigenados pueden ocasionar la liberación de azufre elemental o sulfato de calcio dihidratado (yeso), con efectos similares al de los oxihidróxidos de hierro, por precipitación indeseada en los conductos porales, disminuyendo la permeabilidad.

Conclusiones

- La mineralogía dominante en las areniscas de la Formación Naricual la conforman los minerales cuarzo, fragmentos líticos y calcita junto con dolomita como material cementante; entre los accesorios destaca la presencia de pirita, siderita, y con menor frecuencia glauconita y muscovita. Los feldespatos no son constituyentes importantes en las areniscas de esta unidad. La caolinita es el constituyente arcilloso más abundante.
- Las areniscas de la Formación Oficina por el contrario, poseen menor nivel de cementación, son en general más friables y levemente más arcillosas. La mineralogía es similar a la de las muestras de la Fm. Naricual, aunque los feldespatos, tanto sódico (albita) como potásico (microclino) están presentes en casi todas las muestras: cuarzo, albita, microclino, calcita y siderita. Entre las arcillas, además de caolinita se evidenció illita/esmectita y clorita. A diferencia de las muestras de la Fm. Naricual, fueron detectadas otras fases minerales: ankerita y circones.
- El cuarzo es el mineral más abundante en las muestras, superando en ambas formaciones el 80% en promedio. Las diferencias composicionales para ambos tipos de areniscas (Fm. Naricual: 80,6% y Fm. Oficina: 81,6%) no es estadísticamente significativa.
- Los carbonatos constituyen el segundo grupo mineral más importante en las muestras de la Fm. Naricual, representando aproximadamente el 10%,

mientras que para la Fm. Oficina, el promedio de carbonatos se situó alrededor del 6%.

- Las arcillas representan la segunda mineralogía en abundancia para las muestras de la Fm. Oficina, con predominancia de la caolinita, aunque también se encuentran presentes illita/esmectita y clorita. Por el contrario, para la Formación Naricual, las areniscas estudiadas presentan mayor contenido de carbonatos que de arcillas, y solo fue detectada caolinita como especie mineral de este importante grupo, con excepción de una muestra fuertemente glauconítica (NAR-01(b)). Otras arcillas fueron identificadas (glauconita, clorita, illita) sólo a nivel de microscopía electrónica.
- La presencia ocasional de circon y ankerita entre los minerales accesorios de la Fm. Oficina fue el aspecto distintivo con respecto a las muestras de la Fm. Naricual, donde estas fases minerales estuvieron ausentes (dentro del límite de determinación de la técnica de DRX, 1%).
- Los minerales de arcillas en las areniscas de ambas formaciones se encuentran como matriz, bordeando los granos y en muchos casos rellenando espacios porales de la roca.
- La distribución y características de las arcillas presentes en ambas unidades permite proponer métodos de trabajo en los pozos donde se eviten altas tasas de flujo, a fin de minimizar la migración de los finos, que por las características halladas, tenderán a movilizarse y alojarse en las gargantas de los poros en los que ya se encuentran muchas arcillas, como ha revelado el presente estudio, con la consecuente pérdida de permeabilidad.
- En ambas formaciones se debe obviar el uso de sistemas ricos en oxígeno y fluidos que contengan calcio, bario o estroncio a profundidades donde exista pirita o siderita, ya que se pueden formar precipitados de hidróxido de hierro y producción de azufre. Esta precaución se debe por la relativa abundancia de nódulos sideríticos -muestras NAR-01(b), NAR-02(c), OF-03(b), OF-04(b)- y concentraciones puntuales de glauconita –por ejemplo, NAR-01(b)-.
- Se demuestra la utilidad del análisis conjunto de difracción de rayos X, microscopía electrónica de Barrido y disolución en ácidos, como un método integrado para caracterizar y discriminar entre fases minerales de arcillas con una buena precisión.

Referencias

- Avila, J. (1999) Abreviatura de los minerales. Disponible en: https://www.academia.edu/17279659/Abreviaturas_de_Los_Minerales_1999

- Bjorlykke, K. (2015). *Petroleum Geoscience. From Sedimentary Environments to Rock Physics*. New York, USA: Springer.
- Chapman, R. (1983). *Petroleum Geology*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Feng P, Wang D, Liu G, Wang H. Economides M. (2011). *Sandstone Reservoir Stimulation Using High-Temperature Deep- Penetrating Acid*. SPE Western North American Region Meeting (Anchorage Alaska USA), pp. 1–11
- Gabriel, G. y Inamdar, G. (1983). *An experimental investigation of fines migration in porous media*. En: Paper SPE 12168, 1983 Annual Technical Conference and Exhibition, San Francisco, California, USA.
- Galal, S. Elgibaly, A., Elsayed, S. (2016). Formation damage due to fines migration and its remedial methods. *Egyptian Journal of Petroleum* 25 (4), 515-524. doi: 10.1016/j.ejpe.2015.11.005.
- González de Juana C., Iturralde de Arozena J. M. y Picard C. (1980). *Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas*, Tomo II. Caracas, Venezuela: FONINVES.
- LEV (1999). *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. Versión Electrónica. INTEVEP, filial de Petróleos de Venezuela, PDVSA. Recuperado de <http://lev.desarrollominero.gob.ve>
- Mosser-Ruck, R., Devineau, K., Charpentier, D., Cathelineau, M. (2005). Effects of ethylene glycol saturation protocols on XRD patterns: a critical review and discussion. *Clays and Clay Minerals*, 53, 631-638.
- Pettijohn F, Potter P y Siever R. (1987). *Sand and sandstone*. New York, USA: Springer – Verlag. Segunda edición.
- Polanco Ferrer, R. (2004). *Estudio estructural del borde norte de la subcuenca de Guárico en la región de Altigracia de Orituco, estado Guárico, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, 152 pp.
- Reynolds, R. (1965). An X-ray study of an ethylene glycol-montmorillonite complex. *American Mineralogist* 50, 990-1001.
- Rojas, F. (2013). *Síntesis de la evolución tectono-estratigráfica, Subcuenca de Maturín, Oriente de Venezuela*. Recuperado de http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2013_Rojas_GEO1-O8.pdf
- Schlumberger (1997). WEC 1997, Evaluación de pozos. Schlumberger Sureco, Houston, USA.
- Xiao, J., Wang, J., y Sun, X. (2017). Fines Migration: Problems and Treatments. *Oil & Gas Research* 3, pp. 123. doi: 10.4172/2472-0518.1000123