

# Evaluación petrográfica de la secuencia sedimentaria “Areniscas de El Tambor”: Consideraciones diagenéticas

## "Areniscas de El Tambor" sedimentary sequence petrography evaluation: Diagenetic considerations

Villegas, Lennys y Guerrero, Omar \*

Universidad de Los Andes. Escuela de Ingeniería Geológica.

Mérida 5101. Venezuela

\*oguerre @ ula.ve

Recibido: 24-11-05

Revisado: 16-10-06

### Resumen

Las facies “Areniscas de El Tambor” se encuentran localizadas al noroeste de la ciudad de Mérida, entre los sectores La Carbonera - Jají, sus afloramientos se extienden hacia el flanco norandino en Los Andes centrales venezolanos. Esta secuencia sedimentaria no posee definición de facies sedimentarias, ni se le han determinado atributos petrográficos y/o diagenéticos. A partir de evaluaciones de campo se determinó que la unidad geológica posee un espesor aproximado de 1.850 m., de los cuales 1.100 m., corresponden a litofacies de areniscas, los cuales fueron objeto de éste estudio. Los afloramientos de las “Areniscas de El Tambor” se subdividieron en tres petrofacies de estudio; la basal de cuarzoarenitas y sublitarenitas; la intermedia de grawackas y wackas líticas y la petrofacies superior de sublitarenitas con presencia de pirita, glauconita y carbón. Los resultados petrofísicos y geoquímicos reflejan diagénesis somera a intermedia, con epidíagenesis que contribuyen a la formación de porosidad del tipo fractura y disolución.

**Palabras clave:** Petrografía sedimentaria, diagénesis de areniscas, Andes venezolanos.

### Abstract

The sedimentary sequence known as “Areniscas de El Tambor” is located between The Carbonera and Jají areas in the northwest of the Merida city, Venezuela. This sequence outcrops along the northern flank in the Venezuelan Andes. Neither a definition of sedimentary facies nor a petrography and diagenetic characterization had been conducted on this sequence. Based on field work the sedimentary sequence has an average thickness of about 1850 m. This study was focused in a sandstone litofacies identified in the entire sequence whose average thickness is 1100 m.. The sedimentary sequence was subdivided into three Petrofacies, the lower one consist of cuarzoarenites and sublitarenites, the intermediate one is characterized by grawackes and lithic wackes and the upper one consist of sublitarenites with presence of pyrite, glauconite and coal. The petrophysic and geochemistry analysis show diagenesis that ranges from shallow to intermediate, with epidíagenesis that contributed to the formation of porosity either by fracturing or dissolution.

**Key words:** Sedimentary petrology, sandstones diagenesis, Venezuelan Andes.

### 1 Introducción

La sedimentación de los depósitos terciarios en la región central y occidental de los Andes centrales venezolanos, han sido escasamente estudiadas, y en especial la unidad objeto de estudio, por lo cual existen ciertas controversias en cuanto a su ubicación dentro de la columna estratigráfica, indefinición de su edad y por supuesto de su rango estratigráfico (Higgs, et al. 1995; Villegas., 2000).

Igualmente, se establece una indefinición, en cuanto a su carácter sedimentológico y sus aspectos diagenéticos, es por ello, que se pretende realizar un estudio que permita definir las petrofacies sedimentarias con la finalidad de reconocer sus aspectos litológicos y establecer sus características petrofísicas y petrográficas en la búsqueda de establecer parámetros que permitan considerar su importancia como posible roca reservorio.

## 2 Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el centro del sistema montañoso andino, hacia el noroeste de la ciudad de Mérida en el Páramo El Tambor, sector de La Carbonera - Jají. Estado Mérida. Entre las coordenadas UTM N-959.000 - 945.000 y E 227.000 - 245.000. (Fig. 1).

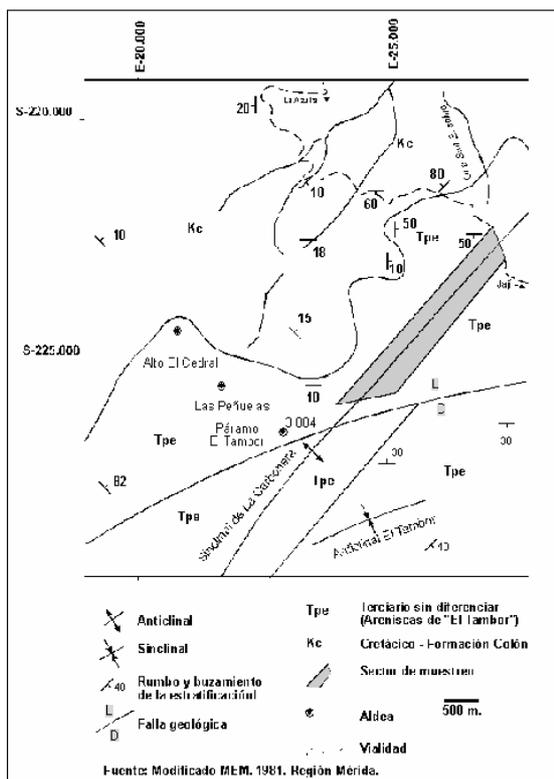


Fig 1. Localización del área de estudio

## 3 Metodología

La metodología empleado para llevar a cabo este trabajo de investigación, consistió en desarrollar etapas de campo geológico estrechamente coordinadas con ensayos de laboratorio, los cuales se exponen a continuación;

La etapa de campo geológico, consistió en salidas al área de estudio, con la finalidad de hacer un reconocimiento de la zona, delimitar su extensión y así puntualizar los afloramientos que posteriormente serían estudiados. Luego se procedió a determinar y definir petrofacies sedimentarias, con la finalidad de reconocer las secuencias y ciclos sedimentarios existentes, así como definir las secciones geológicas de muestreo.

El trabajo de laboratorio, consistió en la realización sobre el conjunto de muestras obtenidas de los siguientes ensayos: petrografía sedimentaria, microscopía electrónica de barrido (SEM/EDS), difracción de rayos X y determinación de los parámetros porosidad ( $\phi$ ) y permeabilidad ( $K$ ).

## 4 Planteamiento del problema

Los afloramientos denominados “Arenisca de El Tambor”, han sido escasamente estudiados (Higgs, et al., 1995; Villegas y Guerrero (2000) tanto desde el punto de vista sedimentológico, como diagenético. Originalmente la unidad fue cartografiada por (Shagam et al., 1981; CVET., 1997) como edad Paleoceno-Eoceno sin diferenciar siendo las areniscas la litología predominante, encontrándose en menores cantidades de lodolita y carbón.

Higgs et al. (1995) le asigna un espesor aproximado de 200 metros, su edad según datos palinológicos, se ubica entre el Eoceno Medio a Tardío con una prolongación hasta Oligoceno, correlacionada en base a relaciones estratigráficas con la Formación Carbonera (Maraven, 1995; Zambrano et al., 1997). Sin embargo, según estudio sedimentológico de Higgs et al. (1995) no recomienda colocarla dentro esta unidad. Un aspecto de importancia para la definición de esta unidad es el reconocimiento petrográfico y sedimentológico realizado por Villegas y Guerrero (2000), donde se incluyen aspectos de definición de petrofacies, petrográficos y diagenéticos, que permiten caracterizar con mayor exactitud los afloramientos con la finalidad de reconocer su potencial como reservorio.

## 5 Características sedimentológicas y diagenéticas de las petrofacies

Los afloramientos que conforman las “Areniscas de El Tambor” fueron divididos en tres unidades de estudio: unidad basal, media y superior, cada uno compuesta por petrofacies características. A continuación se describen las unidades estudiadas;

### 5.1 Unidad basal

Los afloramientos que conforman la unidad basal tienen un espesor acumulado de 420 m., con una relación arena/lutita de 4:2. La unidad presenta secuencias estratocrecientes con ciclos granodecrecientes y granocrecientes, las petrofacies de areniscas de grano fino son abundantes en la base, y secuencias granocrecientes heterolíticas a techo (gradación de base a tope de lutitas pasando a areniscas de grano fino a areniscas de grano medio), se destaca la presencia de pequeñas intercalaciones de lutitas y areniscas formando estructuras sedimentarias tipo flaser y lenticular, así como también se observan areniscas de grano fino a medio con intercalaciones de restos vegetales. Las muestras características de esta unidad están identificadas con la nomenclatura; AIV<sub>t</sub>, AIV<sub>m</sub>, AII<sub>t</sub>, AII<sub>s</sub>.

Las petrofacies se caracterizan por tener lentejones de arcillas embebidos en una matriz de arena fina a media, los cuales se van haciendo más espesos lateralmente, finalmente en el tope de la sección encontramos grandes espesores de areniscas de grano fino, en las cuales se destacan la presencia de abundante mica moscovita y sericita, la cual le

proporciona a las areniscas texturas hojosas o "lepidoclástica", igualmente se aprecia la formación de nódulos de pirritas. Según Pettijohn et al. (1972), las rocas pertenecientes a esta petrofacies se clasifican: en wacka lítica, grawackas y sublitarenitas.

### 5.2 Unidad media

Las petrofacies características de la sección media de esta unidad geológica, se observan en el sector llamado la "Cantera", siendo la máxima expresión de las facies de las "Areniscas de El Tambor". Esta unidad posee un espesor aproximado de 650 m., con una relación arena/lutita de 3:1. Se caracteriza por presentar grandes espesores de areniscas de grano fino con abundantes laminaciones. La secuencia de depósito es cíclica y alternante entre lutitas y areniscas. En la parte inferior, las areniscas son de grano fino y presentan estratificación cruzada sigmoidal, seguido por una estratificación paralela de alta energía, esta secuencia se repite, en estratos suprayacentes e infrayacentes a diferentes escalas de desarrollo, finalizando hacia el tope con un desarrollo de laminaciones y estratificaciones horizontales y cruzadas plana. Las muestras escogidas para este estudio son; SI<sub>b</sub>; SII<sub>b</sub>; SII<sub>m</sub>; SIII<sub>t</sub>; SIII<sub>t</sub>; SIII<sub>dm</sub>; SIII<sub>id</sub>; AIII<sub>b</sub>; AIII<sub>t</sub>.

### 5.3 Unidad superior

Hacia el tope, la unidad presenta un espesor de aproximadamente 780m., cubierto parcialmente por sedimentos recientes, la relación: arena/lutita/carbón es 1:1:0.5, y un espesor de 2/1.5/1 m. en promedio para los escasos afloramientos observados. La petrofacies superior se caracteriza por presentar areniscas de grano fino que grada a limolitas y lutitas, De manera general, posee lentes de lutitas intercalados con areniscas de grano medio, conformando estructuras sedimentarias del tipo flaser y lenticular en las secciones inferiores y medias. En la sección superior, encontramos areniscas de grano fino con material carbonoso y estratos de carbón con un espesor variables de 0.90 a 1.30 m., y cierra la sedimentación con un estrato de areniscas de grano muy fino. Las muestras mas representativa son; SIII<sub>m</sub>; AV<sub>t</sub>.

## 6 Petrofacies reconocidas para las facies "Areniscas de El Tambor" (Tabla 1 y 2, Anexo).

### 6.1 Petrofacies de wackas líticas y grawackas

Las wackas líticas y grawackas, se caracterizan de manera general por un tamaño de grano promedio que oscila entre 0.0625mm – 0.0800mm., el escogimiento de los granos es moderado a mal escogido y, la redondez del grano entre subangular a subredondeado. Los tipos de contactos presentes son longitudinal (65%) y grano-matriz (35%), exhibe un empaquetamiento. Estos parámetros au-

nados a un contenido de matriz que oscilan en el 22%, definen una inmadura en la textura. Estas rocas presentan altos porcentajes de cuarzos (65%) y escasos porcentajes de feldespatos (7%), micas moscovitas (6%) y sericitas (4%) por alteración de las plagioclasas. Entre los minerales accesorios se observan trazas de esfenas, apatitos, leucoceno y magnetitas. Las características diagenéticas presentes en esta petrofacies esta representada principalmente por las arcillas autigénicas del tipo caolinita e illita/esmectita distribuidas en forma dispersa, al igual que micronódulos de pirritas. La materia orgánica (carbonosa) es muy abundante y uniforme, especialmente en forma de estilolaminas relleno microcanales o espacios porosos.

### 6.2 Petrofacies de sublitarenitas

Las Sublitarenitas poseen texturalmente un tamaño de grano promedio que oscila entre fino a muy fino con valores entre (0.088mm a 0.0625mm), los tipos de contactos entre granos presentan cierta variabilidad dependiendo de la muestra, predominando los contactos cóncavo-convexos (50% - 55%), y longitudinales (45%), con una redondez del grano entre subangulosos-subredondeados, el escogimiento del grano es muy variable presentándose entre escogimiento bueno a moderado; En cuanto al contenido de matriz (5% a 12%) se considera que estas rocas presentan una madurez textural que varía de submaduras a inmaduras.

Mineralógicamente, estas muestras poseen un porcentaje de cuarzo que oscila 75%-85%, plagioclasa (5%-7%), chert (1.5%-2.9%) y micas del tipo moscovita y sericita (7%-17%). La matriz presente en esta sección sedimentaria alcanza valores de 2% a 10% y aunado a las características petrográficas definen una variación de rocas maduras a submadura hacia el tope de la litofacies. Las arcillas son principalmente del tipo alogénico y en escasas proporciones desarrollos autigénicos, se encuentran presentadas por la presencia de arcilla de tipo illita e illita/esmectita, la existencia de estas arcillas y la diferencia entre ambas, se determinó a través del hábito de los microgranos observados en ensayos de barrido electrónico. La mineralización de pirita alcanza un 4%, y rellena en muchos casos antiguas bioturbaciones, al igual que óxidos de hierro, los cuales alcanzan un 1% a 2%.

Los minerales diagenéticos presentes en la unidad se encuentran caracterizados por la presencia de un desarrollo esporádico de sobrecrecimiento de cuarzo. Por otra parte, las arcillas autigénicas predominantes en la unidad son generalmente del tipo illita/esmectita con algunos episodios esporádicos de caolinita; la presencia de estos minerales autigénicos se corroboraron con los análisis del SEM y a la vez con los ensayos de EDS que proporciona el porcentaje de elementos químicos presentes en la muestra, y para esta unidad los elementos predominantes aparte de (Si) con mayor porcentaje son Al, Fe, Ca y K.

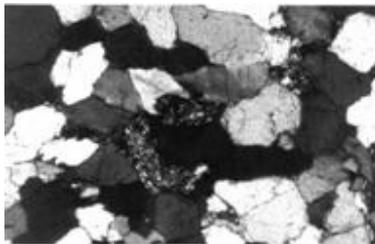


Fig 2. Objetivo: 100.25 Nícoles:  
Cruzados  
Sublitarenita: se observar un alto porcentaje de cuarzo, se aprecian fragmentos líticos tipo chert originando pseudomatrix; también se muestra sobrecrecimientos de cuarzo esporádico.

### 6.3 Petrofacies de cuarzoarenitas;

Las cuarzoarenitas tienen un tamaño de grano promedio (0.177mm), con un escogimiento de moderado a bueno, redondez del grano subredondeado y tipos de contactos entre los granos longitudinales 50% y concavo-convexo 40%, y escaso porcentaje de contactos suturados, generando empaquetamiento ligeramente apretado. Mineralógicamente, poseen porcentaje alto de cuarzo 94%-95% (Fig. 3); en proporción menor tenemos; micas sericita 0.9% y chert 1.9%, la matriz 2%, esencialmente es ortomatrix sericita autigénica y desarrollo de cemento por sobrecrecimiento de cuarzo. Posee madurez textural alta, debido a su muy bajo contenido de matriz, su buen escogimiento, buena redondez del grano.

Los minerales diagenéticos se encuentran representados por su abundante y bien desarrollados sobrecrecimientos de cuarzos, los cuales pueden ser apreciados por su orientación y desarrollo cristalográfico en continuidad óptica, en algunos casos por uniones triples o en otros por la aparición de líneas de sombras. Estos sobrecrecimiento de cuarzo son generados directamente por precipitación de sílice, y por circulación de soluciones acuosas (Carozzi V, 1988). La fracción de arcillas autigénicas, esta representada por caolinita e illita/esmectita, los elementos químicos mayoritarios presentes es el Si y en menores porcentaje Al, Mg, Na.

### 6.4 Petrofacies de litarenitas;

La facies de litarenitas, tienen tamaño de grano promedio entre finos a muy finos (0,088 mm), con un escogimiento de moderado a bueno, redondez del grano de subangular a subredondeado, contactos longitudinales abundantes y concavo-convexo esporádicos, lo que le confiere un empaquetamiento relativamente suelto. El porcentaje de cuarzo oscila entre 65%-72%, otros de los minerales con mayor predominio son las micas del tipo moscovita 4% y sericita 3%, como también el chert 1%-3%. El porcentaje de matriz

oscila entre 8%-10%. En base a estos parámetros, se considera texturalmente de tipo submaduras. Los elementos diagenéticos para esta secuencia de roca, muestran escasa presencia de sobrecrecimientos de cuarzo. La cementación predominante es de óxidos, específicamente de hematita, la cual se encuentra muy dispersa y arcillas tipo illita desarrollada entre granos conformando taponos.

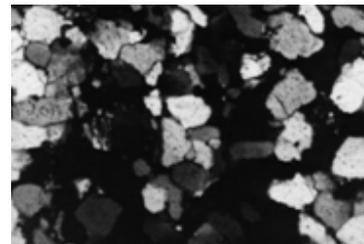


Fig 3. Objetivo: 10.25 Nícoles:  
Cruzados  
Esta Microfotografía representa una arenita cuarzosa, con sobrecrecimientos de cuarzo, que supera el 85% del total de la muestra.

## 7 Parámetros petrofísicos de las petrofacies de areniscas.

En base a las observaciones de porosidad absoluta obtenidas en los análisis petrográficos de las secciones finas, como la porosidad efectiva empleando el procedimiento del *Porosímetro de Boyle*, y la permeabilidad por obtenidos por el *Método de Klinkenberg*, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 3, Anexo), la porosidad efectiva varía entre 4,11% a 4,18% y de permeabilidad 0,19 md a 0,1 md. Estos parámetros petrofísicos con valores muy bajos, es el reflejo de las características texturales y petrográficas presentes en la roca, es decir, debido a que el escogimiento se encuentra entre los rangos de moderado a bajo con un tamaño de grano variable y la redondez del grano es esencialmente subangular a subredondeada, a su vez presenta un empaquetamiento apretado.

La porosidad es producto de la disolución de granos lábiles, microfracturas de materia orgánica e intrapartícula, aunado a la presencia de altos porcentajes de arcillas alogénicas, contribuyen a la disminución de la porosidad, debido a que estas taponan los poros y obstruyen las gargantas de los espacios intersticiales, generando microporosidades que retienen agua irreducible. Las muestras de las petrofacies de areniscas obtenidas a tope de la unidad arrojan valores de porosidad promedios de 5.11%; este valor es el más alto de toda la unidad geológica, pero los valores de permeabilidad alcanza en promedio 0.1 md. Los valores de porosidad obtenidos por descripción de las secciones finas provienen de porosidades asociadas a estroláminas de materia orgánica y algunas por disolución con valores de 2%-4%.

## 8 Evaluación diagenética para las facies de las "Areniscas de El Tambor"

Los parámetros y características obtenidas tanto en campo como en el laboratorio, se puede interpretar que en las "Areniscas de El Tambor" existe un predominio de los estadios redoxomórfica y locomórfica, afectado por un proceso de epidigénesis.

Para la petrofacies inferior o basal, la cual se caracteriza principalmente por el desarrollo de sobrecrecimiento de cuarzo, producen procesos de cementación temprana. Esta precipitación de la sílice ocurre poco después de la deposición a profundidades someras antes de cualquier compactación apreciable de los granos de cuarzo, siendo esto un aspecto fundamental en la disminución sustancialmente de la porosidad y la permeabilidad, lo que explica la existencia de valores muy bajos (<0,1 md). Así como la acumulan arcillas autigénicas del tipo caolinita e illitas, conformando el escenario para interpretar que las rocas sufren una etapa de diagénesis intermedia o locomórfica. El proceso de compactación que afecta a estas rocas desarrolla contactos cóncavo-convexos y suturados, generando empaquetamiento apretado.

Las petrofacies media se caracteriza por la presencia de materia orgánica y porcentajes elevados de pirritas y matriz detrítica, indica que se encuentran condiciones oxido reductoras con presencia de Fe, S y O, donde se conserva la materia orgánica y se pueden precipitar sulfuros de hierro, la cementación en estas rocas se caracterizan por la formación de sobrecrecimientos de cuarzo, asociados a los contactos concavos-convexos y suturados otorgándole cierta compactación a la roca debida a carga de la columna sedimentaria (Fig.4), la cual produce expulsión de fluidos y disminución en la porosidad, todo esto indica una etapa de diagénesis intermedia o locomórfica.

Un aspecto petrográfico importante en esta secuencia de rocas es la presencia de microfracturamientos en los granos de cuarzo, los cuales generan microporosidades, aspecto este define según Mc Bride, E. (1998) variaciones en las direcciones de los esfuerzos de deformación causadas por procesos tectónicos que implican procesos de epidiagénesis asociados a la dinámica diagenética. En la petrofacies superior, al igual que en la petrofacies media, el alto porcentaje de matriz y materia orgánica y la presencia en forma uniforme de pirritas, además de arcillas autigénicas especialmente del tipo illita /esmectita, aunado a la escasa desarrollo de sobrecrecimiento de cuarzos; nos indica una etapa de diagénesis temprana o redoxomórfica, pero debido a que en ciertos estratos la porosidad se hace prácticamente ausente y aparecen minerales de arcillas autigénicas del tipo illita muy uniformes en la totalidad de la muestra, se puede inferir la presencia de un estadio inicial de diagénesis intermedia o locomórfica (Goldstein J, y Newbury D, 1981) . Esta unidad también se encuentra influenciada por etapas de epidiagénesis las cuales son detectadas por la aparición de microfracturamiento de los granos de cuarzo.

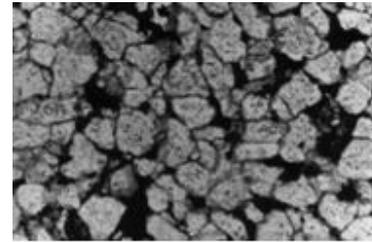


Fig. 4 Objetivo: 100x. Nícoles: Paralelo. Se puede apreciar una cementación por disolución de óxidos de hierro y restos de materia orgánica en forma de granos rellenando porosidad, la cual es inferior al 5%. Se presenta alteración de los cuarzos por sericitización.

## 9 Conclusiones

1. Las "Areniscas de El Tambor" esta compuesta de base a tope por las siguientes secuencias: Secuencias progradantes con ciclos granocrecientes y granodecrecientes intercalados en la base. Secuencias agradacional en la parte media. Mientras que la secuencia superior tiene un complejo de secuencias retrogradante y progradante, con ciclos granocrecientes y decrecientes intercalados.

2. El análisis petrográfico permitió tres petrofacies; sublitarenitas (66%); wackas líticas (20%) y cuarzoarenitas (14%) con presencia de graucónita, pirrita y carbón hacia las secciones media y superior de la unidad.

3. El proceso diagenético predominante de toda la unidad geológica es el desarrollo de cementación por sobrecrecimientos de cuarzo, y por óxidos de hierro (hematita y siderita). El desarrollo de arcillas autigénicas es un factor importante dentro de las petrofacies analizadas, específicamente del tipo illita / esmectita y caolinita, al igual que la presencia de pirritas y glauconitas.

4. Las "Areniscas de El Tambor" se encuentran dentro de la etapa diagenética de tipo somera o Redoxomórfica, la cual se caracteriza por la presencia de zonas de oxido-reducción, donde se conserva materia orgánica y la presencia de arcillas es considerable, generando microporosidades relativamente altas y permeabilidades bajas, se precipitan sulfuros de hierro formando pirritas. Igualmente se interpreta un estadio de diagénesis intermedia o locomórfica, caracterizada por un importante proceso de cementación y desarrollo de contactos cóncavos-convexos y suturados.

5. Los valores de porosidad absoluta y efectiva (hasta un 15%) y permeabilidades (40 a 80 md.), permiten concluir que las areniscas que conforman esta unidad poseen cualidades de interés para la acumulación de fluidos (hidrocarburos y agua).

## 10 Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del CDCHT – ULA,

igualmente al laboratorio INPELUZ, por la elaboración de los ensayos petrofísicos.

## Referencias

Carozzi V, 1988, Petrografía sedimentaria, Pretince Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.  
 Maraven, 1993, Cretaceous and paleogene sedimentation in the south western venezuelan Andes. AAPG-SVG. Field Trip No. 4.  
 CVET-Comisión Venezolana de Estratigrafía y Terminología, 1997, Léxico estratigráfico de Venezuela. Tercera Edición. Ministerio de Energía y Minas, Caracas, Venezuela. Boletín de Geología. Publicación especial 12, pp. 1- 450.  
 Goldstein J, y Newbury D, 1981, Scanning electron microscopy and X ray microanalysis, Plenum Pres, New York and London.  
 Haq B, 1991, Sequence stratigraphy, sea level change, and significance for the deep sea. In: Sedimentation, Tectonic and Eustasy: Sea-level changes at active margins (D. MacDonald, Ed.) Blackwell Sci. Pub. Oxford. IAS. Special Pub.

12. pp. 3-39.

Higgs R, Pindell J y Odreman O, 1995, Tectónica y sedimentación mesozoica y cenozoica de los Andes Venezolanos, Memorias del IX Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas, Venezuela, pp 23-45.  
 McBride E, 1998, A. short course sands diagenesis: key to reservoir quality of sandstone. CIED-PDVSA, Caracas, Venezuela.  
 Pettijonh FJ, 1980, Rocas sedimentarias, Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina.  
 Villegas L y Guerrero O, 2000, Evaluación petrográfica y diagenética de las facies "Areniscas de El Tambor". Implicaciones estratigráficas. Andes Centrales Venezolanos. II Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Resúmenes, Argentina, pp.183-184.  
 Zambrano E, Vázquez E, Duval B, Latrille M y Coffenieres, B, 1997, Síntesis paleogeográfica y petrolera del occidente de Venezuela. Memorias del IV Congreso Geológico Venezolano, Caracas, Venezuela, pp. 1-17

## Anexos

Tabla1. Composición mineralógica y petrográfica de las facies de areniscas de El Tambor.

Muestra	SIb	SIlb	SIIm	SIIt	SIIMm	SIItt	SIIMdm	SIIttd	SIIm	AIIm	AIIt	AIIBb	AIItt	AIVt	AVt
<b>Minerales detríticos</b>															
CUARZO	73	70	75	70	74	83	65	65	91	92	63	72.8	68	72	65
FELDESPATO:		2.8	3	5	6	4.8	5	7	2.8	2.9	7.2	4.8	7	7.6	7
Plagioclasa	5				2	4.8					4.5	0			
Potásico	0				4	0					2.7				
Fragmentos líticos															
Chert	0	0	0	1.8	1.5	2.9	0	0	1.9	1.9	0	1.9	3	1.3	1
Lutitas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Argiláceos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Granos accesorios</b>															
Glauconita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Tz.	0	0	1.3	0
MICAS:	8	12	8	11.3	9.5	3.8	17	12	0.9	0	10	10.6	7	7	9
Moscovita	5	7	5	6.6	5.5	1.9	9	6.8	0	0	5.4	5.8	4	3.8	5
Sericita	3	4	3	4.7	4	1.9	8	5.8	0.9	0	4.5	4.8	3	3.2	4
<b>Minerales pesados</b>															
Esfena	Tz.	Tz.	Tz.	Tz.	0	0	0	Tz.	0	Tz.	0	0.9	0.9	0	Tz.
Apatito	0	0	Tz.	0	Tz.	Tz.	0	0	0	Tz.	0.9	Tz.	0	Tz.	Tz.
Leucoseno	3	Tz.	1	0	0	0	2	1.9	0	0	2.7	0	0.9	0.6	1
Magnetita	1	3.8	3	0	3	Tz.	1	0	0	0	0	1.9	1.9	1.3	1
Hematita	1	0	0	0	Tz.	Tz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Titanio	Tz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilmenita	0	0	1	0	0	0	Tz.	0.9	0	0	0	Tz.	Tz.	0	0
<b>Porosidad</b>															
Intergranular	√	√			√	√		√	√			√			
Intrapartícula		√		√		√					√				
Disolución		√	√				√		√	√			√	√	
Fractura			√	√	√						√		√		

Tabla2. Resumen de las características petrográficas principales de las litofacies sedimentarias muestreadas en campo.

Muestra	Folk (1984)	Tipos de arena	Escogimient	Redonde	Madurez	Orientación	Textura	Contactos
SI <sub>B</sub>	Sublitoarenita	muy fina a fina	Moderado	SA-SR	Inmadura	Isótropo	Masiva	L>CC>>S
SII <sub>B</sub>	Sublitoarenita	muy fina a fina	Moderado a Mal	SA>SR	Inmadura	Subparalelo	Estiloláminas	CC>L>>S
SII <sub>M</sub>	Sublitoarenita	fina	Bueno	SR	Madura	Isótropo	Masiva	CC>L>>S
SII <sub>T</sub>	Sublitoarenita	muy fina	Bueno	SA-SR	Madura	Subparalelo Azar	Estiloláminas	CC>L
SIII <sub>M</sub>	Sublitoarenita	fina	Bueno	SA-SR-R	Madura a supermaduras	Isótropo	Estiloláminas	CC>L>>S
SIII <sub>T</sub>	Sublitoarenita	muy fina a fina	Bueno	SA-SR-R	Madura	Isótropo	Masiva	CC>L>>S
SIII <sub>DM</sub>	Sublitoarenita	muy fina	Moderado a Mal	SA-SR	Inmadura	Anisótropo	Estiloláminas	L>GM
SIII <sub>TD</sub>	Cuarzoarenita	muy fina	Moderado a Bueno	SR	Submadura	Isótropo	Masiva	CC>L
AII <sub>M</sub>	Cuarzoarenita	Media	Moderado a Bueno	SR	Madura	Isótropo	Masiva	CC>L
AII <sub>T</sub>	Cuarzoarenita	Arena Media	Moderado a Bueno	SR	Madura	Isótropo	Masiva	L>CC
AIII <sub>B</sub>	Sublitoarenita	Muy fina	Mal	SA-SR	Inmadura	Isótropo	Masiva	L-GM
AIII <sub>T</sub>	Sublitoarenita	Muy fina	Bueno	SA-SR	Madura	Subparalelo	Estiloláminas	L>CC
AIV <sub>M</sub>	Sublitoarenita	Fina	Moderado a bueno	SA-SR	Submadura	Subparalelo	Estiloláminas	L>CC
AIV <sub>T</sub>	Sublitoarenita	Fina	Moderado a bueno	SA-SR	Submadura	Subparalelo	Estiloláminas	L>CC>>S
AV <sub>T</sub>	Sublitoarenita	Muy fina casi limo		SA-SR	Submadura	Subparalelo	Muchas estiloláminas	L>CC

Contactos: L:Longitudinal; CC: concavo.convexo; S:suturado; GM:Grano-matriz.  
Redondez: SA.Subanguloso; SR: Subredondeado

Tabla 3. Resultados de la porosidad y permeabilidad y su relación con la petrofacies

Muestra	Cemento	Matriz	Porosidad absoluta	Porosidad efectiva	Permeabilidad	Nombre de la roca
MSII <sub>B</sub>	8	12	4	4.18	<0.1	Sublitoarenita
MSII <sub>M</sub>	10	7	3			Sublitoarenita
MSII <sub>T</sub>	7	8	5			Sublitoarenita
MSIII <sub>M</sub>	10	3	2			Sublitoarenita
MSIII <sub>T</sub>	5	2	4	5.11	<0.1	Sublitoarenita
MSIII <sub>DM</sub>	11	16	3			Waca Lítica
MSIII <sub>TD</sub>	10	10	2			Sublitoarenita
MAII <sub>M</sub>	7	1	2	1.19	<0.1	Cuarzoarenita
MAII <sub>T</sub>	10	-	2			Cuarzoarenita
MAIII <sub>B</sub>	8	22	9			Waca Lítica
MAIII <sub>T</sub>	12	5	2			Sublitoarenita
MAIV <sub>M</sub>	10	10	4	3.97	0.16	Sublitoarenita
MAIV <sub>T</sub>	7	8	5			Sublitoarenita
MAV <sub>T</sub>	10	20	-			Waca Lítica