

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS Fundada en 1551**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

E.A.P. DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

# **Estudio diagenético del reservorio Pona en los yacimientos: Pavayacu, Corrientes y Yanayacu en el lote 8 - Cuenca Marañón**

TESIS para optar el Título Profesional de: INGENIERO GEÓLOGO

AUTOR

**LEONEL HÉCTOR VÉLIZ QUILIANO**

**LIMA – PERÚ 2003**



..	1
<b>Resumen .</b>	<b>3</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN . .</b>	<b>5</b>
1.1. OBJETIVOS . .	6
1.2. ALCANCES . .	6
1.3. UBICACIÓN Y EXTENSIÓN .	7
1.4. ACCESIBILIDAD Y CONDICIONES CLIMÁTICAS .	8
1.5. AGRADECIMIENTOS .	8
<b>II. GEOLOGÍA REGIONAL .</b>	<b>11</b>
2.1. ESTRATIGRAFÍA .	11
2.1.1. PRE-CRETACEO .	11
2.1.2. CRETACEO . .	12
2.1.3. TERCIARIO . .	15
2.1.4. CUATERNARIO .	17
2.2. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL .	17
2.3. AMBIENTE SEDIMENTARIO .	18
<b>III. GEOLOGÍA DEL RESERVORIO PONA . .</b>	<b>21</b>
3.1. GENERALIDADES .	21
3.2. PARÁMETROS DEL RESERVORIO PONA . .	23
3.3. SELLO EN EL RESERVORIO PONA . .	24
3.4. SEDIMENTACIÓN DEL RESERVORIO PONA .	24
3.5. DATACIÓN DEL RESERVORIO PONA .	26
3.6. DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURAS .	27
<b>IV. METODOLOGÍA DEL TEMA DE ESTUDIO . .</b>	<b>29</b>
<b>V. PETROGRAFÍA SEDIMENTARIA . .</b>	<b>31</b>
5.1. NÚCLEOS CONVENCIONALES . .	31
5.1.1. GENERALIDADES .	31

5.1.2. UBICACIÓN Y SELECCIÓN . .	32
5.1.3. PREPARACIÓN Y EQUIPOS .	33
5.1.4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS . .	34
5.2. SECCIONES DELGADAS . .	36
5.2.1. GENERALIDADES .	37
5.2.2. UBICACIÓN Y SELECCIÓN . .	37
5.2.3. PREPARACIÓN Y ADITIVOS . .	38
5.3. ANÁLISIS PETROMINERALOGICO . .	39
5.3.1. GENERALIDADES .	39
5.3.2. EQUIPO UTILIZADO . .	40
5.3.3. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA .	41
5.3.4. TIPOS DE CONTACTO . .	50
5.3.5. PARÁMETROS DE EMPAQUE .	51
5.3.6. ANÁLISIS DE CONTACTO Y EMPAQUE .	52
VI. EVALUACIÓN DIAGENETICA . .	61
6.1. GENERALIDADES .	61
6.2. MODELOS DIAGENETICOS . .	62
6.3. PROCESOS DIAGENETICOS . .	64
6.3.1. COMPACTACIÓN . .	65
6.3.2. PRESIÓN SOLUCIÓN . .	67
6.3.3. AUTIGENESIS Y CEMENTACION . .	68
6.3.4. DESCEMENTACIÓN, DISOLUCIÓN Y FRACTURAMIENTO .	73
6.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .	74
VII. PARÁMETROS PETROFÍSICOS .	77
7.1. POROSIDAD ( $\Phi$ ) . .	77
7.1.1. TIPOS DE POROSIDAD . .	79
7.1.2. ANÁLISIS Y RESULTADOS . .	81
7.2. PERMEABILIDAD . .	85
7.2.1. ANÁLISIS Y RESULTADOS . .	86

<b>VIII. FACTORES DIAGENETICOS Y PARÁMETROS PETROFÍSICOS .</b>	<b>89</b>
<b>CONCLUSIONES . .</b>	<b>95</b>
<b>RECOMENDACIONES .</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS .</b>	<b>105</b>
Anexo N° 01 .	105
Anexo N° 02 .	106
Anexo N° 03 .	106



---

*A mis padres Héctor y Bertha por su constante apoyo y confianza*





---

## Resumen

La producción de petróleo del Lote 8, operado actualmente por Pluspetrol, proviene principalmente de los reservorios Cetico, Pona y Vivian de edad Cretácica. Se ha probado también producción restringida en el reservorio Pozo Basal del Terciario.

Los parámetros petrofísicos de estos reservorios no son realmente homogéneos, sino que están controlados por procesos diagenéticos que influyen en la calidad de los mismos.

Con el objetivo principal de reconocer estos procesos diagenéticos que controlan los parámetros petrofísicos de la roca reservorio Pona, se planteó la necesidad de efectuar un estudio diagenético, para lo cual se evaluaron 30 secciones delgadas de este reservorio, correspondientes a los yacimientos: Pavayacu, Corrientes y Yanayacu, comprendidos entre las profundidades de 2809.50 m. a 3523.33 m.

Se realizaron estudios microscópicos en cada sección delgada evaluada: unos de carácter petrográfico y otros propiamente diagenéticos, complementados con una descripción general macroscópica de los núcleos seleccionados correspondientes a este reservorio.

La petrografía sedimentaria de las areniscas del reservorio Pona, se realizó en 15 núcleos convencionales, con una descripción litológica, incluyendo las características sedimentológicas, los cuales son mostrados en 7 láminas.

El estudio petrográfico, básicamente del tipo microscópico, relacionado a la composición mineralógica se realiza mediante el análisis modal (conteo de puntos), así como para las características petrográficas (texturales) y el estimado de la porosidad visual (aparente).

Los análisis de los tipos de contacto y parámetros de empaque nos permitieron interpretar el grado de compactación en esta roca reservorio, los cuales son presentados en 14 gráficos.

El estudio diagenético comprende: la inclusión de la roca reservorio en tres modelos diagenéticos, la identificación y reconocimiento de los procesos diagenéticos (primarios y secundarios) que han afectado a esta roca reservorio, asimismo se presenta una discusión de los resultados obtenidos, para intentar dar una explicación satisfactoria de los procesos diagenéticos ocurrientes en las areniscas del reservorio Pona.

Se ha realizado un análisis general de los parámetros petrofísicos de esta roca reservorio, principalmente de la porosidad con el incremento de la profundidad de soterramiento. Se comparan los valores hallados de porosidad visual con los valores de porosidad de los registros de densidad (Density Log). Se intenta asimismo discriminar la porosidad (primaria y secundaria), basándose en el reconocimiento de algunos criterios petrográficos en las muestras de estas areniscas reservorio.

Como resultado de la integración de todos los análisis efectuados se hace referencia de la ocurrencia de los principales factores diagenéticos y su relación con los parámetros petrofísicos del reservorio Pona. Se ha encontrado evidencias de los procesos diagenéticos en estas areniscas reservorio, como: Compactación, Autigénesis y Cementación (Procesos Primarios) y Descementación (Proceso Secundario) principalmente de la calcita en las muestras correspondientes a los yacimientos Corrientes y Yanayacu. Estos procesos son los que estarían controlando la porosidad y permeabilidad del reservorio Pona, conjuntamente con un factor importante que es la matriz arcillosa intersticial, que tiene una persistente a notable presencia y que podría caracterizar a este reservorio.

Si bien es cierto que estos finos intersticiales reducirían la calidad de los parámetros petrofísicos en el reservorio Pona, también estarían produciendo la inhibición de la compactación, pudiendo atribuírsele el efecto moderado de la compactación en las areniscas del reservorio Pona (lineamiento NNW – SSE), encontrado en la mayoría de las muestras evaluadas.

# I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio fue realizado inicialmente a mediados de la década de 1990, bajo modalidad de Tesis otorgado al suscrito por Petróleos del Perú S.A.

En el año 2003 se complementó este trabajo con información general actualizada, proporcionada por Pluspetrol Norte S.A., actual adjudicataria del Lote 8.

El reservorio Pona es el segundo horizonte productor en importancia, después del reservorio Cetico, ambos pertenecientes a la Formación Chonta, principal unidad Cretácica productora de petróleo en el Lote 8.

Como consecuencia de los nuevos programas de exploración y desarrollo, incluyendo recuperaciones mejoradas para controlar e incrementar la producción de petróleo en estos reservorios, se está reevaluando al reservorio Pona.

Como parte de esta reevaluación del reservorio Pona, se hace necesario estudiar la diagénesis de sus areniscas reservorio, pues las características primarias de la porosidad y permeabilidad están controlada por los procesos diagenéticos que ocurrieron en estos, de ahí su importancia de reconocerlos, estudiarlos e identificarlos.

Conjuntamente con los estudios de las características litológicas así como de la composición mineralógica, nos darán como resultado la calidad de la roca reservorio.

Existen técnicas de estudio principalmente la microscopía petrográfica, para la identificación de los procesos diagenéticos, como son los análisis de los tipos de contacto y parámetros de empaque para la compactación, los análisis modal y visual para el reconocimiento de los otros procesos y características diagenéticas, mineralógicas, así

como para la discriminación de los tipos de porosidad presentes en las areniscas del reservorio Pona.

Este estudio pretende dar un aporte al mejor conocimiento de las características y comportamiento de las areniscas del reservorio Pona y a la vez ser un criterio válido que guíe la exploración hacia áreas más prospectables del Lote 8.

## **1.1. OBJETIVOS**

La presente Tesis tiene como objetivo principal el reconocimiento e identificación de los diferentes procesos diagenéticos que ocurrieron en las areniscas del reservorio Pona, desde su depositación (sedimento), posterior consolidación (roca) hasta el almacenamiento de hidrocarburos (reservorio) para intentar explicar las condiciones y variaciones de la porosidad ( $\phi$ ) y la permeabilidad ( $k$ ) de las areniscas de este reservorio.

Como objetivos derivados podemos mencionar:

- La constitución mineralógica de las areniscas del reservorio Pona, mediante el análisis modal, para saber su comportamiento ante los procesos diagenéticos (primarios y secundarios).
- Efectuar una revisión de las características sedimentológicas y petrográficas mediante el estudio de los núcleos convencionales de este reservorio.
- Estimar los tipos de porosidad ( $\phi$ ) inferidos de las secciones delgadas en estudio, para relacionarlas principalmente con los procesos diagenéticos actuantes en las areniscas del reservorio Pona.

Finalmente, este trabajo mediante la modalidad de Tesis será evaluado y expuesto para optar el Título profesional de Ingeniero Geólogo.

## **1.2. ALCANCES**

Como consecuencia de los objetivos señalados, se pretende contribuir con un mejor conocimiento del reservorio Pona para aumentar y / o buscar nuevos objetivos (targets) de exploración en este reservorio. También se pretende dar un aporte para explicar e incrementar la productividad de las capas petrolíferas del reservorio Pona.

Asimismo, se da a conocer los caracteres petrográficos y diagenéticos de uno de los reservorios tipo del Lote 8, estando de esta manera al alcance de cualquier estudiante de Ingeniería Geológica y afines en general que contribuya a su formación académica.

### 1.3. UBICACIÓN Y EXTENSIÓN

El Lote 8 se encuentra situado en el Nor-Oriente peruano (Fig.01). Políticamente pertenece a la Región Loreto. Geográficamente se ubica en la parte centro oriental de la Cuenca Marañón, que se manifiesta actualmente como una depresión estructural asimétrica configurada por la Tectónica Andina. Geológicamente se sitúa en la antigua zona de plataforma y charnela estructural de la cuenca Cretácica, rasgos geomorfológicos activos durante la sedimentación del sistema Cretácico que condicionaron la distribución de los hidrocarburos en los yacimientos productivos.

El Lote 8 tiene una extensión de 879,602.77 Hectáreas, perforándose hasta Diciembre del 2002 un total de 160 pozos, con una producción diaria de 22,570 bbls. y un acumulado de petróleo de 254.46 MMbbls.

Los pozos estudiados en el Lote 8 para la ejecución del tema son 7, los cuales se distribuyen en el Cuadro N°01.

Cuadro N° 01

YACIMIENTO	POZO	COORDENADAS		OBSERV.
PAVAYACU	67-D	N 1' 717,237	E 786,551	Fig.N°02
PAVAYACU	79-D	N 1' 714,870	E 789,658	Fig.N°02
CORRIENTES	12-XC	N 1' 666,538	E 825,397	Fig.N°02
CORRIENTES	44-XC	N 1' 664,650	E 825,790	Fig.N°02
CORRIENTES	116-D	N 1' 665,011	E 825,277	Fig.N°02
YANAYACU	32-X	N 1' 549,862	E 837,084	Fig.N°02
YANAYACU	27-X	N 1' 544,965	E 835,686	Fig.N°02

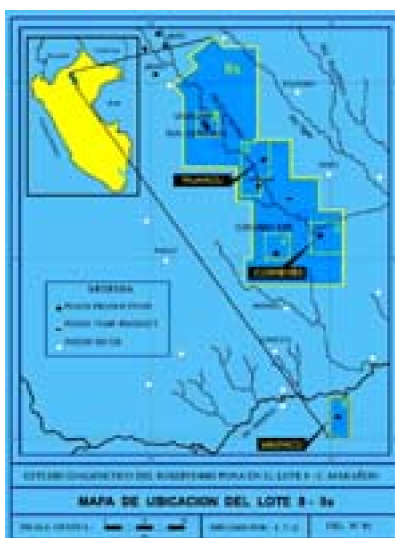


Figura N° 01. Mapa de ubicación del Lote 8-8x

La ubicación y distribución de los 7 pozos analizados se muestran en un plano base (Fig. N° 02).

## **1.4. ACCESIBILIDAD Y CONDICIONES CLIMÁTICAS**

El Lote 8 es accesible desde Iquitos, tanto por vía aérea como fluvial. Por vía aérea mediante avionetas, helicópteros e hidroaviones (Twin Otter, Breaver, Helio, etc.) que acuatizan principalmente en el río Corrientes, existiendo actualmente un moderno aeropuerto en la zona de San Juan de Corrientes (Trompeteros).

Por vía fluvial a lo largo de los ríos Amazonas, Marañón, Tigre y Corrientes, los que son navegables con embarcaciones de pequeño a mediano calado durante todo el año.

Las condiciones climáticas son netamente tropicales, típicas de la Selva tropical húmeda: abundante calor y copiosas lluvias con un promedio de temperatura entre 22° C - 30° C.

## **1.5. AGRADECIMIENTOS**

Debo expresar mi agradecimiento a Petróleos del Perú S.A. por haberme otorgado todas las facilidades para efectuar el presente trabajo. Asimismo a Pluspetrol Norte S.A., por brindarme datos complementarios generales.

Deseo expresar mi especial agradecimiento a los señores Ingenieros: Rolando Bolaños Z. y Miguel León E. (ex-geólogos de Petróleos del Perú); Edwin Mendiolaza B., Guillermo Castro D. y Luis Rivera R. (Asesor y Jurados de la U.N.M.S.M., respectivamente) por sus consejos, orientaciones y revisiones al presente trabajo.

Finalmente mi gratitud a toda la Ex-Unidad Selva de Petróleos del Perú, a cargo entonces del Ing. Germán Salas A., quien actualmente desde Pluspetrol Norte S.A., colaboró en la revisión del presente tema de Tesis.

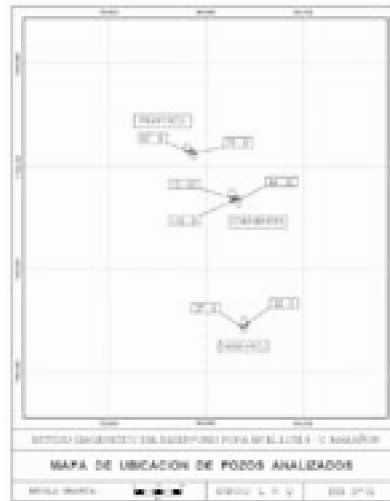


Figura N° 02. Mapa de ubicación de pozos analizados





## II. GEOLOGÍA REGIONAL

### 2.1. ESTRATIGRAFÍA

La secuencia estratigráfica presente en la Cuenca Marañón está conformada por rocas que varían en edad desde el Paleozoico hasta el Cenozoico, alcanzando una potencia de 12,200 m. Las cuales descansan sobre el basamento cristalino Pre-Cámbrico.

Se muestra la Columna Estratigráfica generalizada del Lote 8, basado en los yacimientos Pavayacu, Corrientes y Yanayacu (Fig. N°03).

Los pozos exploratorios: 1-X (Corrientes), 2-X (Capirona), 3-X (Pavayacu) y 27-X (Yanayacu), llegaron hasta el Pre-Cretáceo, representado por la Fm. Sarayaquillo.

#### 2.1.1. PRE-CRETACEO

---

Las rocas Pre-Cretácicas en el Lote 8 están representados por la Fm. Sarayaquillo y también por el Gpo. Pucará.

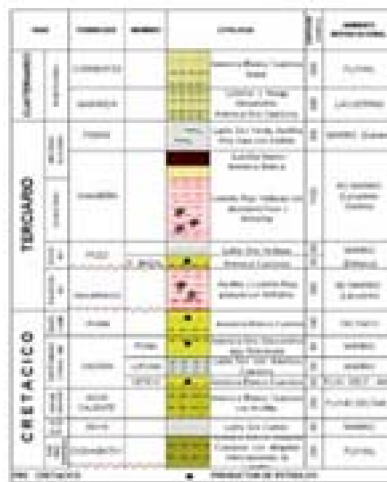
Fm. Sarayaquillo: Es una secuencia jurásica de ambiente continental constituido principalmente de areniscas de colores rojo pálido a rojo brunáceo, de grano fino a medio, arcillosa, en menor proporción se intercalan con lutitas y limolitas rojas,

ocasionalmente ocurren conglomerados. Hacia el Oeste del Lote 8, su unidad infrayacente el Gpo. Pucará consiste de una secuencia carbonatada de ambiente marino.

De acuerdo a la información sísmica 3D, estas dos unidades litológicas constituyen aproximadamente 2,740 m. (9000') de espesor al Oeste del Lote 8, acuciándose hacia el Este, desapareciendo a la altura de la zona de charnela.

## 2.1.2. CRETACEO

Las rocas cretácicas están ampliamente distribuidas en la Región Selva, son de origen fluvio-deltaico a marino, predominantemente clásticos que pertenecen desde el Neocomiano hasta el Maestrichtiano, con espesores que varían entre 300 y 1,500 m.



*Figura N° 03. Columna Estratigráfica del Lote 8. Yacimientos: Pavayacu - Corrientes - Yanayacu.*

Las unidades estratigráficas más conspicuas que se distinguen son las formaciones Cushabatay, Esperanza (Raya), Agua Caliente, Chonta y Vivian.

En conjunto, estas unidades cretáceas alcanzan 1,000 m. de potencia entre los ríos Tigre y Corrientes, decreciendo estas progresivamente hacia el Este.

**FM. CUSHABATAY:** Esta unidad litológica tiene su sección tipo en el río Cushabatay y fue descrita por Kummel (1946), quien la constituye como la unidad basal del Grupo Oriente.

Esta unidad litológica consiste principalmente de areniscas cuarzosas blanco amarillentas con estratificación cruzada, conteniendo cantidades variables de matriz arcillosa y limosa oscuras.

Los horizontes arenosos son buenas rocas reservorio, tienen porosidades hasta de 20% y permeabilidades de hasta 250 milidarcies. Aún no se ha descubierto yacimiento petrolífero en esta formación en la Cuenca Marañón, solamente se han descrito indicios.

Esta formación se encuentra ampliamente distribuida en la faja Subandina y alcanza un espesor de aproximadamente 230 m. en el Lote 8.

Se ha reportado carofitas en la base de esta formación por Ham (Zegarra y Olaechea, 1970). A esta formación se le considera de edad Barremiano - Albiano Medio.

**FM. ESPERANZA:** Esta unidad litológica tiene su sección tipo en el río Cushabatay (Pto. Esperanza), también descrita por Kummel (1946), alcanzando una potencia de 223 m. en este afloramiento.

Esta formación sobreyace concordante a la formación Cushabatay e infrayace en concordancia a los sedimentos fluvio-deltaicos de la formación Agua Caliente.

La formación Esperanza consiste principalmente de lutitas grises (carbonosas) con intercalaciones delgadas de calizas y limolitas que gradan a areniscas finas, ocasionalmente con granos gruesos. Esta unidad tiene un marcado cambio de facie regional de Oeste a Este, incrementándose notoriamente las areniscas sobre las lutitas hacia el borde oriental y Sureste.

La facie lutácea de esta formación es conocida como Fm. Raya que tiene amplia distribución en esta cuenca, alcanzando su mayor espesor hacia el Suroeste, disminuyendo hacia el Norte y Este de la Cuenca Marañón.

Se ha reportado e identificado a varios palinomorfos de edad Albiano-Turoniano Inferior en esta formación (Brenner, 1963; Seminario y Guizado, 1973) pero no se han encontrado microfósiles característicos en el subsuelo del Lote 8.

**FM. AGUA CALIENTE:** Esta unidad litológica tiene su sección tipo en el anticlinal Agua Caliente, aledaño al río Pachitea, descrita por Moran y Fyfe (1937), alcanzando una potencia de 152 m. en este afloramiento.

Esta unidad sobreyace conformable a la Fm. Esperanza y consiste de areniscas cuarzosas gris clara a crema, de grano fino a grueso, en parte glauconítica, con estratificación cruzada, intercaladas con abundante matriz arcillosa, lutitas grises a negras y tufos blancos.

Esta unidad cambia de facie notoriamente en dirección Oeste y Este, siendo menos arenoso en la parte occidental, predominando las lutitas y en menor proporción las calizas.

Los horizontes arenosos tienen mejores características de reservorio hacia la parte oriental en la que las porosidades y permeabilidades alcanzan valores de hasta 21 % y 350 milidarcies, decreciendo hacia la parte occidental de la Cuenca Marañón.

Esta unidad conjuntamente con las Fms. Cushabatay y Raya forman hacia el Este de la cuenca una secuencia arenosa indiferenciada conocida como Grupo Oriente.

Se ha encontrado palinomorfos del Cretáceo medio por Lammons en el Pongo de Tiraco y en el área de estudio según Robertson Research (1990). A esta formación se le considera de edad Cenomaniana.

**FM. CHONTA:** Esta unidad litológica tiene su sección tipo en los afloramientos de la Isla Chonta en el río Pachitea, denominada y descrita por Morán y Fyfe (1933), alcanzando una potencia de 183 m.

Esta unidad consiste principalmente de lutitas grises oscuras, intercaladas con calizas micríticas y detríticas, de gris a gris oscuro, cambia gradualmente a mayor

intercalación de areniscas cuarzosas blancas, de grano fino, ocasionalmente de grano medio a grueso. Presenta notables variaciones de facie predominantemente marino en la parte occidental a facie de complejo deltaico en la parte oriental.

En el Lote 8 la secuencia se presenta mayormente arenosa (clástica). Su sección tipo en subsuelo es definido como la secuencia estratigráfica comprendida entre los 2,812 m. y 3,022 m. de profundidad en el pozo 12-XC, perteneciente al yacimiento Corrientes. En este yacimiento el tope de esta formación está dado en todos los pozos por una secuencia lutácea no resistiva.

Los contactos son concordantes tanto con la Fm. Vivian (suprayace) como con la Fm. Agua Caliente (infrayace), apreciándose en forma nítida en el yacimiento Capirona.

Se ha dividido a esta formación en tres miembros: Cetico, Lupuna y Pona, que a falta de un nombre geográfico adecuado, se ha tomado los nombres de las plantas más conspicuas de la región. De las cuales los miembros Cetico y Pona presentan reservorios petrolíferos, siendo el primero el más prolífico, mientras que el miembro Lupuna es altamente lutáceo.

- **MIEMBRO CETICO:** Su sección tipo está definida en el subsuelo del yacimiento Corrientes (Pozo 12-XC), correspondiendo a la secuencia estratigráfica comprendida entre los 2,957 m. y 3,022 m. de profundidad.

Esta constituido generalmente de areniscas cuarzosas con finas intercalaciones de lutitas y limolitas.

En su sección media se presenta una secuencia calcárea y en menor proporción sedimentos lutáceos que sirve de referencia para subdividir a este miembro en: Cetico Superior y Cetico Inferior. También sirven como horizontes de correlación estratigráfica.

El miembro Cetico se constituye como el mejor reservorio del Lote 8, por su contenido petrolífero y condiciones petrofísicas que se manifiesta por su buena producción de petróleo en los yacimientos de este Lote.

- **MIEMBRO LUPUNA:** Su sección tipo está definida en el subsuelo del yacimiento Corrientes (Pozo 12-XC), correspondiendo a la secuencia estratigráfica comprendida entre los 2,903 m. y 2,957 m. de profundidad.

Está constituido principalmente por lutitas grises oscuras micáceas, algo carbonáceas con intercalaciones de areniscas blanco grisáceas. Se le considera generalmente lutáceo dentro de toda la Fm. Chonta.

- **MIEMBRO PONA:** Su sección tipo está definida en el subsuelo del yacimiento Corrientes (Pozo 12-XC), correspondiendo a la secuencia estratigráfica comprendida entre los 2,812 m. y 2,903 m. de profundidad.

Este miembro identifica la parte superior de la Fm. Chonta y está constituido principalmente de areniscas cuarzosas, glauconíticas y bioturbadas con intercalaciones delgadas de lutitas, con un espesor aproximado de 90 m.

Este miembro está formado por una secuencia de sedimentos principalmente marinos que han sido depositados en un complejo de barras.

Se ha encontrado varias especies de Tisotia y Coilopoceras en la Fm. Chonta en las

riberas del río Cushabatay por Benavides et. al. (1964), quien le asigna edades Turoniano Superior – Coniaciano - Santoniano.

Esta formación tiene horizontes de buena calidad como rocas generadoras de petróleo, principalmente en la región Nor-occidental y occidental de la cuenca, mientras que las rocas reservorio están mejor desarrolladas en la zona de influencia del complejo deltaico, en la que las porosidades alcanzan valores cercanos al 25% y permeabilidades hasta de 600 milidarcies, disminuyendo gradualmente estas características hacia las zonas de facies marinas.

**FM. VIVIAN:** Esta unidad litológica tiene su sección tipo en la Quebrada Vivian, situada en la provincia de Contamaná (Región Loreto). Fue denominada y descrita por Kummel (1948), quien la define como una secuencia de arenisca blanca a amarillenta, cuarzosa, de grano fino a medio, con algunos niveles conglomerádicos, regularmente seleccionada e intercalada con ligeros niveles de lutitas negras carbonosas.

Esta formación sobryace concordante a la Fm. Chonta e infrayace discordante a la Fm. Yahuarango.

La formación Vivian se encuentra distribuida en casi toda la faja Subandina del Oriente Peruano, alcanzando en el área de Contamaná los 488 m. de potencia, disminuyendo progresivamente hacia el Norte, con una potencia promedio de 140 m. en el Lote 8.

En el subsuelo su sección tipo se ubica en el yacimiento Corrientes (Pozo 12-XC), correspondiendo a la secuencia estratigráfica comprendida entre los 2,674 m. y 2,812 m. de profundidad, constituido litológicamente de areniscas blancas, gruesas, ocasionalmente con guijarros finos, esporádicamente es tufácea y arcillosa, con pocas intercalaciones de lutitas carbonosas de color gris oscuro.

Esta unidad tiene excelentes reservorios en las cuales sus porosidades alcanzan valores de hasta 25% y permeabilidades cercanas a 900 milidarcies, constituyéndose como el principal productor de petróleo en la Cuenca Marañón.

No se ha encontrado fósiles en los pozos del área de estudio, sin embargo, Kummel (1948) reporta que en el nivel medio de la Fm. Vivian presente en los cerros de Ventanilla (cercano al río Cushabatay), ocurre una sección de lutita negra de 50 m. de espesor que contiene numerosos restos de plantas fosilizadas.

A esta formación generalmente se le asigna una edad Campaniana, que puede incluir también el Maestrichtiano.

### 2.1.3. TERCIARIO

---

Los sedimentos del terciario son principalmente de origen continental y consisten de arcillitas, lutitas y lodolitas, abigarradas predominando tonalidades de rojizo púrpura a gris verdoso, con intercalaciones lenticulares de areniscas marrones arcillosas y en menor frecuencia conglomerados.

Su potencia varía a través de la cuenca de Oeste a Este, siendo el mayor espesor en el borde occidental y la faja Subandina (10,400 m.), mientras que en la zona oriental tiene

3,660 m. de potencia (según datos de pozos perforados).

El Terciario consta de las siguientes unidades litológicas de la base al tope: Yahuarango, Pozo, Chambira y Pebas.

**FM. YAHUARANGO:** Esta unidad litológica fue definida por Kummel (1946), estando constituida principalmente por lodolitas abigarradas de tonalidades rojo púrpura, intercalada con areniscas y limolitas, que contienen abundante anhidrita nodular.

Sobreyace e infrayace en discordancia a los sedimentos fluviales de la formación Vivian y a los sedimentos de la formación Pozo respectivamente.

Su potencia se incrementa de 30 a 250 m. regionalmente de Este a Oeste.

Según estudios palinológicos realizados por Aliaga y Muller (1980) en secciones de campo del río Cushabatay, Pongo de Tiraco, Pongo de Manseriche y de los pozos Huasaga y Valencia, se establecen que la base de esta unidad es de edad Maestrichtiana Superior, mientras que la parte superior por posición estratigráfica es probable que pertenezca al Paleoceno-Eoceno, según Robertson Research (1990).

**FM. POZO:** Esta unidad litológica tiene su sección tipo en el río Santiago, presentando paquetes de lutitas, intercaladas con calizas. Fue denominada y descrita por Williams (1949).

Está conformada por los miembros: Pozo Basal y Lutitas Pozo, siendo su origen marino a lacustrino.

Lutitas Pozo consiste de lutitas gris a gris verdoso, micropiríticas, ocasionalmente intercalada con areniscas muy finas y calizas micríticas. Análisis geoquímicos de algunos horizontes lutáceos dieron un buen contenido de material orgánico que las caracteriza como buenas rocas madres de hidrocarburos.

Pozo Basal conforma la base de la Fm. Pozo, caracterizada por la presencia de areniscas cuarzosas, de grano fino a grueso, generalmente asociado a horizontes tufáceos.

Su potencia se incrementa de 70 a 200 m. regionalmente de Este a Oeste.

Pozo Basal se constituye como la única unidad petrolífera del Terciario en el Lote 8. Se probó producción en el Pozo 16-XCD (Yac. Corrientes).

Según Seminario y Guizado (1973) esta formación tendría una edad Oligocénica, pero generalmente se le considera de edad Eoceno-Oligoceno.

**FM. CHAMBIRA:** Esta unidad litológica tiene su sección tipo en el río Cushabatay. Fue denominada y descrita por Kummel (1948).

Está constituida principalmente por lodolitas rojas, púrpuras y amarillas, intercaladas con limolitas rojo ladrillo y ligeras calizas margosas hacia la parte inferior de la formación. En el área de estudio tiene una potencia promedio de 1,100 m. de espesor, generalmente se le asigna edad Oligoceno - Mioceno.

**FM. PEBAS:** Esta unidad litológica tiene su sección tipo en la margen izquierda del río Amazonas y al Este de la Ciudad de Iquitos. Fue denominada y descrita por Grabbs (1968).

Está constituida principalmente por lodolitas rojas y marrones claras, intercaladas con lutitas rojas, verdosas y marrones, además de algunos horizontes calcáreos (coquina) y margosos.

La Fm. Pebas en el área de estudio tiene una potencia de más de 350 m. Su edad no esta bien definida pero generalmente se asume de edad Mio - Pliocénica

### 2.1.4. CUATERNARIO

---

Según Seminario y Guizado (1973) está representado por las formaciones: Marañón y Corrientes, que en conjunto alcanzan una potencia de 300 m. a 1,800 m. de Este a Oeste.

**FM. MARAÑÓN:** Esta unidad litológica está constituida principalmente por lodolitas rojas y arcillitas abigarradas con horizontes de areniscas grises y calizas margosas nodulares. Generalmente alcanza un espesor de más de 300 m. y un promedio de 500 m. en el área de estudio. Se le asigna una edad Plio-Pleistocénica.

**FM. CORRIENTES:** Esta unidad litológica está constituida principalmente por arenas cuarzosas gruesas conglomerádicas, con fragmentos de rocas (plutónicas y volcánicas), en su mayoría caolínizadas y algo de arcillitas limolíticas grises claras.

Esta formación alcanza un espesor promedio de 550 m. en el área de estudio. A esta formación generalmente se le asigna una edad Pleistocénica.

## 2.2. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

El Lote 8 se encuentra dentro de la Cuenca Marañón que forma parte del Llano Amazónico, situado en la porción NNE del Perú (Región Loreto), abarcando un área aproximada de 320,000 Km<sup>2</sup> dentro del territorio peruano, tomando el nombre de Cuenca Napo en el Ecuador (Fig. N°04).

La Cuenca Marañón es una depresión estructural Terciaria que se encuentra dentro de una zona de plataforma de la cuenca de sedimentación cretácica.

Los límites que presenta la Cuenca Marañón están dadas por:

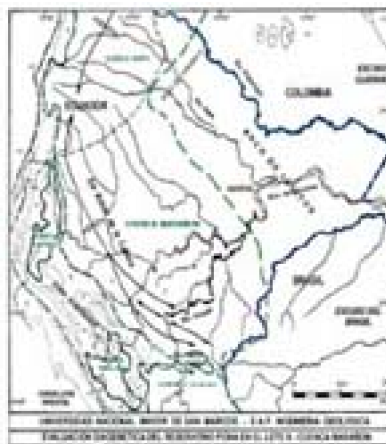
- NORTE: La frontera internacional con el Ecuador, ya que esta continúa con el nombre de Cuenca Napo hasta el Arco de Cononaco.
- OESTE: El borde oriental de la Faja Subandina.
- ESTE: El Arco de Iquitos constituido por el Basamento cristalino.
- SUR: El Levantamiento o Arco de Contaya.

La secuencia sedimentaria tiene un rumbo regional de NW-SE y buzamiento suave (3° - 5°) hacia el SW, interrumpiéndose abruptamente en el borde occidental por el fuerte plegamiento andino.

La actual configuración estructural es el producto principalmente de los movimientos orogénicos andinos (epirogénicos) que se produjeron al final del Mioceno. Sin embargo, por prospección sísmica (líneas sísmicas) tanto regional como de detalle, han revelado evidencias de movimientos tectónicos pertenecientes a ciclos orogénicos antiguos.

En el Lote 8 la Cuenca Marañón está dividida por una zona de charnela de orientación NW-SE que coincide con las alineaciones de los principales yacimientos de esta área: Corrientes, Capirona, Pavayacu y Valencia - Nueva Esperanza; separando una zona con subsidencia lenta hacia el Este de otra con mayor subsidencia hacia la zona central de la cuenca.

Debemos mencionar que en el Lote 8 y en general en la Cuenca Marañón, la presencia de fallamientos es notoria hasta la base de la Fm. Chonta (Pre-cretáceo), no así en las formaciones posteriores a éste (Cretáceo y Terciario), donde se presentan plegamientos suaves, principalmente anticlinales asimétricos que siguen un alineamiento NNW-SSE, que conforman trampas estructurales en la mayoría de los yacimientos petrolíferos del área de estudio.



*Figura N° 04. Mapa Geomorfo - Estructural de la Cuenca Marañón*

## **2.3. AMBIENTE SEDIMENTARIO**

Los sedimentos cretácicos del Gpo. Oriente (Fm. Cushabatay, Fm. Esperanza y Fm. Agua Caliente), Fm. Chonta y Fm. Vivian son predominantemente de carácter terrígeno y maduro (alto contenido de cuarzo), provenientes de la erosión del Escudo Guayano-Brasilero (al Este de la cuenca), habiendo sido depositados en ambientes fluvial a fluvio-deltaico, con períodos de influencia marina (transgresivos) en las formaciones Esperanza (Raya) y Chonta (Lupuna y Pona).

En el Cuadro N°02 se aprecia un resumen general que relaciona el tipo de sedimento (litología), ambiente de sedimentación, geometría u ocurrencia de reservorio y/o sello así como el promedio de los parámetros petrofísicos ( $\phi$  y  $k$ ) de las rocas mesozoicas presentes en la Cuenca Marañón.



Posteriormente, a fines del Cretáceo, con el levantamiento de los Andes (Orogenia Andina), se invierte predominantemente la dirección de aporte (Oeste a Este), depositándose las secuencias sedimentarias en ambiente continental, con transgresiones temporales (marino), consistiendo de una secuencia de capas rojas (lodolitas), lutitas y areniscas que vienen a constituir las formaciones: Cachiyacu, Yahuarango, Pozo, Chambira y Pebas correspondientes al Terciario. De la misma manera las formaciones: Marañón y Corrientes tienen el mismo ambiente (continental) que corresponden al Cuaternario o Reciente.

Se muestra una sección general del Mesozoico en la zona central del Lote 8 en la Figura N°05.

Cuadro N° 02. Resumen General de las características geológicas y de reservorio en la C. Marañón.

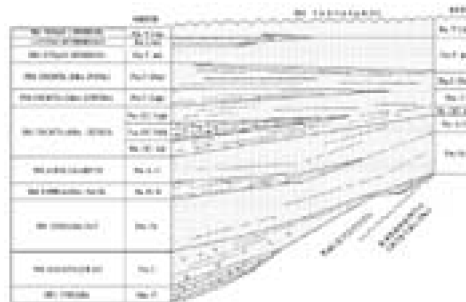


Figura N° 05. Sección Mesozoica Generalizada del Área Central del Lote - 8



## III. GEOLOGÍA DEL RESERVORIO PONA

### 3.1. GENERALIDADES

El Miembro Pona constituyente de la parte superior de la Fm. Chonta, fue definida y descrita por G. Gonzáles et. al (1974), como la secuencia estratigráfica comprendida entre los 2,811 m. y 2,902 m. de profundidad en el Pozo 12-XC del yacimiento Corrientes (Fig. N°06).

El Miembro Pona está conformado por una secuencia de areniscas con intercalaciones de lutitas y algunos horizontes calcáreos, depositados en un complejo de barras barreras con canales de marea.

La roca reservorio Pona está constituido por areniscas siliciclásticas (cuarzo), glauconíticas, de grano medio a fino con bioturbación.

Los parámetros petrofísicos del reservorio Pona muestran buena a regular porosidad (20 - 30%) y regular a baja permeabilidad (8 - 400 md.). Los ejes de mayor porosidad y permeabilidad tienen una orientación paralela a los ejes de las barras, las cuales siguen una dirección NNW-SSE.

Las areniscas del complejo de barras barrera tienen mejor distribución en el área Oeste y Central del Lote 8 entre los yacimientos Nueva Esperanza, Pavayacu, Corrientes

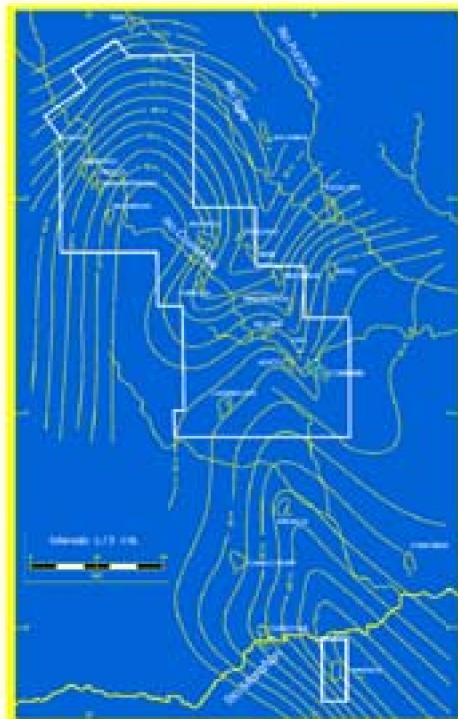
y Yanayacu, de acuerdo a correlaciones estratigráficas efectuadas en el área y el mapa isolito de arenisca del miembro Pona (Fig. N°07).

Las areniscas reservorio disminuyen de espesor hacia el Este (yacimiento Bolognesi) y hacia el Norte (yacimientos: Valencia, Patoyacu y Martha), siendo en las estructuras del Lote 1-AB la porción equivalente a las lutitas y calizas de la parte superior de la Fm. Chonta.

En el Lote 8 se tiene producción petrolífera de este reservorio principalmente en los yacimientos Pavayacu, Corrientes y Yanayacu.



*Figura N° 06. Sección Tipo del Miembro Pona (Pozo 12 -XC, Yacimiento: Corrientes)*



*Figura N° 07. Mapa Isolito de Arenisca del Miembro Pona*

El petróleo del reservorio Pona es de color negro HCT (High Colt Test), parafínico y presenta una gravedad de 20° a 23° API a 60°F.

La producción conjunta a Diciembre de 2002 de los reservorios Pona y Cético fue de 22,570 BOPD, siendo un estimado del orden entre 25 al 30 % exclusivamente del reservorio Pona.

## 3.2. PARÁMETROS DEL RESERVORIO PONA

### EL RESERVORIO PONA EN EL YACIMIENTO CORRIENTES

En el yacimiento Corrientes el reservorio Pona está constituido por areniscas de barras barrera (47.20 m.), de buena a regular porosidad (19%) y de baja a regular permeabilidad (10 – 1,650 md.), las que se disponen en ciclos superpuestos de 3.70 a 6.10 m. de espesor. Estas areniscas son de cuarzo, glauconíticas, arcillosas, de grano fino a medio, bioturbadas, localmente cementadas parcialmente por calcita. En este yacimiento el reservorio Pona tiene una zonación de 6 capas (Fig. N°08).

### EL RESERVORIO PONA EN EL YACIMIENTO PAVAYACU

En el yacimiento Pavayacu el reservorio Pona está constituido por areniscas finas, regularmente arcillosas, glauconíticas, bioturbadas y frecuentemente calcáreas. Basándose en estudios de núcleos convencionales y correlaciones en los pozos 67-D y 79-D, se han determinado seis secuencias sedimentarias en los pozos en el intervalo definido como reservorio Pona, para este yacimiento.

### EL RESERVORIO PONA EN EL YACIMIENTO YANAYACU

En el yacimiento Yanayacu el reservorio Pona presenta básicamente la misma composición siliciclástica que en los anteriores yacimientos, presentando adicionalmente además de glauconita, microcristales de Pirita.

En este yacimiento se han zonado dos capas: los reservorios "A" y "B" que constituyen las arenas del Pona, siendo la columna de petróleo entre 7.6 y 9.1 m. en estos reservorios.

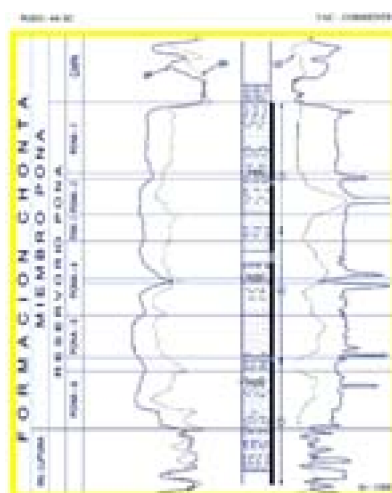


Figura N° 08. Zonación del Reservorio Pona. (Pozo 44-XC, Yacimiento Corrientes)

### 3.3. SELLO EN EL RESERVORIO PONA

#### SELLO EN EL YACIMIENTO CORRIENTES

En el yacimiento Corrientes la roca sello del reservorio Pona está constituida por lutitas marinas transgresivas y por capas de arenisca arcillosa bien finas, bioturbadas, ocasionalmente carbonosa y con horizontes de cemento calcáreo.

#### SELLO EN EL YACIMIENTO PAVAYACU

En el yacimiento Pavayacu la roca sello del reservorio Pona que permite el entrapamiento de petróleo está constituido por lutitas marinas del mismo miembro. El sello de la base del reservorio está constituido por un nivel de areniscas arcillosas, limolitas y lutitas, cuya característica principal es mostrarse muy radioactivas en el Registro de Rayos Gamma y con una resistividad relativamente alta en el Registro de Inducción, que podrían pertenecer a facies de pie de barra o lutitas marinas de plataforma.

Las correlaciones estratigráficas del reservorio Pona muestran que estos sellos constituyen un nivel lutítico transgresivo, ubicado en la parte central del miembro Pona y que vendrían a constituir las rocas sello de los reservorios de Pona en los yacimientos Corrientes y Pavayacu en el Lote 8. El otro nivel lutítico se encuentra en el tope del miembro, con un espesor de 2 m. en el yacimiento Yanayacu, aumentando hacia el N-NW, constituyéndose en el sello del reservorio superior ("A") en este yacimiento.

### 3.4. SEDIMENTACIÓN DEL RESERVORIO PONA

El Miembro Pona está constituido por una secuencia de sedimentos marinos

progradacionales de aproximadamente 91.5 m. (300') de espesor, depositados en un complejo de barras marinas costafuera paralelas a la línea de costa NW-SE, con influencia de canales de marea, siguiendo una transgresión conformada por una lutita de plataforma hacia la parte media del miembro, la cual actúa como sello cubriendo todo el reservorio, principalmente en los yacimientos Corrientes y Pavayacu.

En el yacimiento Corrientes en base al estudio de los núcleos correspondientes a este reservorio en los pozos: 12-XC, 44-XC y 116-D, efectuados por: M.Paz, J.Guizado y R. Bolaños (EXGEOSEL), se ha diferenciado 3 tipos de ambientes (facies) sedimentaria y que describiremos brevemente:

**Facies de Barras Costa Afuera:** Caracterizadas por presentar 3 facies principales de frente de playa: inferior, medio y superior. El reservorio Pona presenta las dos primeras facies.

La facie inferior se caracteriza por ser areniscas de grano muy fino a fino, generalmente arcillosas, densamente bioturbadas y glauconíticas.

La facie media se caracteriza por estar bien estratificada, con estratificación cruzada, festonada y planas bien definidas, localmente glauconíticas, con relativas estructuras de horadación.

**Facies de Areniscas de Canales Fluvio-Marino o de Marea:** Caracterizadas por ser de grano fino a grueso, poca selección, pudiendo estar presente areniscas muy finas como gruesos guijarros, con acumulaciones de clastos de arcilla. Se presentan bien estratificadas y en estratificación cruzada (de bajo ángulo) cambiando gradualmente a facies de arenisca de barra.

**Facie de Lutita de Plataforma Marina:** Caracterizada por ser de color gris oscuro, generalmente fisibles, presentando laminaciones delgadas discontinua de limolitas y lentes de areniscas muy finas.

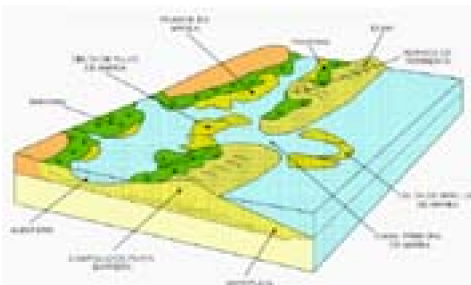
En el yacimiento Pavayacu en base al estudio de los núcleos correspondientes a este reservorio en los pozos 67-D y 79-D, efectuados ambos por J. Guizado (1982 y 1983). Complementados por estudios de Proyectos Desarrollo en este yacimiento (1994), se ha diferenciado de la base al tope de cada secuencia, la existencia de 3 facies diferentes:

- Facie A: Lutitas grises laminadas.
- Facie B: Areniscas muy finas, bastante arcillosas, glauconíticas y bioturbadas.
- Facie C: Areniscas finas, bioturbadas, ligeramente arcillosas, glauconíticas y frecuentemente calcáreas.

Las facies B y C no muestran vestigios de estructuras primarias, presentándose completamente bioturbadas.

De acuerdo a los tipos de facies observados en los núcleos, se ha concluido que estos sedimentos corresponden a depósitos de Barras Marinas Costafuera donde las facies A pertenecerían a lutitas marinas de plataforma (off shore) y las facies B y C a areniscas de frente de barra inferior (Lower Shore-Face).

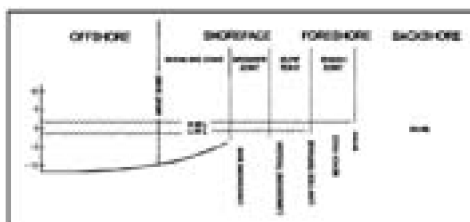
Por las características de estas facies litológicas, areniscas finas arcillosas, bioturbadas con ausencia de estructuras de mayor nivel de energía, deducimos que estas barras se desarrollaron predominantemente sumergidas, cercanas a una costa de bajo nivel de energía con profundidades de agua de 9 m. o más (según Howard y Reineck, 1979). Se muestra un sistema de Isla barrera y canales de marea (Fig. N°09).



*Figura N° 09. Sistema de Isla barrera y Canales de Marea*

Debemos destacar el efecto diagenético de la cementación calcárea que se presentan en intervalos aleatorios del reservorio, manifestándose en "picos" de alta resistividad en el registro eléctrico, pero que no son correlacionables de pozo a pozo.

En el yacimiento Yanayacu, sobre la base del estudio de los núcleos correspondientes a este reservorio en los pozos 27-X y 32-X (Ambientes Deposicionales de las Formaciones Vivian y Chonta en el Yacimiento Yanayacu, 1982), se establece que pertenecen a un ambiente marino somero, en la franja paralela a la línea de costa que abarca desde la zona de transición al llano de marea o Lagoon, pasando por los sub-ambientes de Lower Shore face, Middle Upper Shore face, Foreshore y Law Flat en el complejo de Playa Barrera y Llano de Marea (Fig. N°10).



*Figura N° 10. Perfil generalizado de Playa Barrera y Ambientes del Shoreface*

### **3.5. DATACIÓN DEL RESERVORIO PONA**

Se ha identificado 24 géneros de esporomorfos (palinología) bien preservados en las lutitas (sellos) del reservorio Pona en el yacimiento Yanayacu (Pozos 27-X y 32-X).

En el Pozo 27-X el espectro polínico corresponde al Coniaciano, presentan las siguientes características:

- Predominio de polen tricolporado sobre el monocolpado.



- Mayoritaria ocurrencia del Grupo Normapollen, así como del Chetaceiporites Mulleri y Cretaceiporites polygonalis.
- Presencia de Stevesipollenites s.p., así como de Tricolporo-pollenites s.p. 152.

Tales características ubican a estos sedimentos en la Zona 13 (según Muller, 1981) correspondientes al Coniaciano.

En el Pozo 32-X el espectro polínico de las lutitas corresponde al Santoniano presentando las siguientes características:

- Predominio de Monocolpopollenites s.p.
- Presencia de Zlivisporis blanensis (ocurren en sus primeras formas en el Santoniano, siendo abundantes en el Campaniano - Maestrichtiano).

Por estas características se ubican en la Zona 14 (Muller, 1981).

De estos pozos, la sección del Pozo 27-X es más rica en contenido palinomórfico que la del Pozo 32-X.

## 3.6. DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURAS

Los yacimientos del reservorio Pona en general, están relacionados a anticlinales originados sean por reactivamiento de altos pre-cretácicos que produjeron sólo plegamientos en los niveles cretácicos o por reactivación de fallas antiguas que han plegado y fallado los sedimentos cretácicos y algunas veces hasta terciarios. Estas estructuras han tenido un desarrollo contemporáneo con la depositación cretácica, sin embargo es evidente que la etapa tectónica más activa ha coincidido con la última fase de la deformación andina: la fase Quechua 3 de fines del Mioceno (Terciario).

**El Yacimiento Corrientes** a nivel del reservorio Pona es un anticlinal asimétrico elongado en sentido NW-SE.

El cierre vertical de la estructura es de 40 milisegundos (aproximadamente 48 m.) y su cierre areal es de 6,260 acres.

**El Yacimiento Pavayacu** forma parte del pilar denominado "Alto Pavayacu - Capirona", es un anticlinal asimétrico de orientación SSE-NNW, su flanco oriental es el más empinado (buzamiento 3°- 5°), mientras su flanco occidental tiene sólo 2° de buzamiento. Presenta tres culminaciones estructurales: Sur, Norte y Oeste.

Este yacimiento a nivel del reservorio Pona es similar a lo descrito anteriormente, probándose petróleo en las culminaciones Sur y Norte, mientras que en la culminación Oeste no ha probado aún contener petróleo. El control de entrapamiento de este reservorio es una combinación estratigráfica – estructural (R. Bolaños, 1992).

**El Yacimiento Yanayacu** es un anticlinal asimétrico orientado en dirección N-S y es el que está ubicado más al Sur (meridional) del Lote 8. Tiene una longitud aproximada de

10 Km. y un ancho de 5.5 Km. con un suave buzamiento de 0.9°-1.2° al Oeste, contrastando con el buzamiento algo más pronunciado de 2.5°- 3.5° de su flanco Este.

En este yacimiento, el reservorio "A" está configurado por trampas estructurales en la cresta del anticlinal, mientras que el reservorio "B" es una trampa estratigráfica en el flanco Este del anticlinal (Según Questa Corp.).

## IV. METODOLOGÍA DEL TEMA DE ESTUDIO

El método que se desarrollo en este tema de Tesis se presenta en el Cuadro N° 03, el cual consiste en una serie secuencial de pasos, comprendiendo los siguientes:

- Ubicación y selección de pozos que cuentan con núcleos convencionales de la roca reservorio Pona a evaluarse (07 pozos y 15 núcleos).
- Estudio macroscópico y descriptivo de las características petrográficas: litología, color, forma, tamaño, selección, composición, estructuras sedimentarias, porosidad visible, fluorescencia etc.
- Elaboración y preparación de secciones delgadas de los núcleos convencionales seleccionados (30 secciones delgadas).
- Estudio petrográfico (microscópico) de las láminas petrográficas: composición mineralógica, análisis modal (conteo de puntos), porosidad visual o aparente (primaria y secundaria
- Estudio diagenético (microscópico) de las láminas petrográficas: compactación (análisis de tipos de contacto y parámetros de empaque), presión-solución (sobrecrecimiento), cementación (autigénesis), lixiviación, disolución (descementación) y fracturamiento.
- Interpretar y estimar la variación de la porosidad y permeabilidad de las areniscas del

reservorio Pona, basándose en los anteriores análisis citados. Principalmente en función de los procesos diagenéticos ocurrientes en esta roca reservorio (ver Cap. VII y Cap.VIII).



*Cuadro N° 03. Metodología del tema de estudio.*

# V. PETROGRAFÍA SEDIMENTARIA

## 5.1. NÚCLEOS CONVENCIONALES

### 5.1.1. GENERALIDADES

---

Los núcleos convencionales también conocidos como "muestras redondas" o "cores" son cortes litológicos verticales extraídos de secuencias sedimentarias (arenosas) del subsuelo, siendo su longitud variable entre 30' y 90', con un diámetro variable entre 1 3/4" y 5 1/4". Posteriormente para su transporte al laboratorio son seccionados normalmente en 3" de longitud, colocándolos en cajas debidamente ordenadas y rotuladas, indicando: longitud, profundidad de tope y base, número de pozo, nombre del yacimiento, número de caja y número de núcleo. Para luego ser embaladas listas para su transporte y posterior análisis.

La información generada del análisis de estos es de fundamental importancia para el estudio de los yacimientos. Pues esta información es requerida tanto en programas exploratorios como en operaciones de completación, reacondicionamiento de pozos, operaciones de mantenimiento de presión o en la evaluación del posible efecto y en resultados de recuperaciones mejoradas. También los resultados del análisis de núcleos

se utilizan en la evaluación y calibración de los diferentes métodos de perfilaje de pozos.

### **5.1.2. UBICACIÓN Y SELECCIÓN**

---

Los núcleos convencionales de la roca reservorio Pona estuvieron almacenados en la Planta Conchan, los cuales fueron extraídos y tomados por programas de exploración – desarrollo de Petróleos del Perú.

Para la naturaleza del presente estudio (elaboración de secciones delgadas y complementación de las descripciones sedimentológicas) fueron remitidas al Laboratorio de Geología de Petróleos del Perú. Estos núcleos convencionales del reservorio Pona que más adelante describiremos, se muestran en el Cuadro N°04.

**Cuadro N° 04. Núcleos convencionales analizados**

N°	YACIMIENTO	POZO	NUCLEOS	INTERVALO	RECUPERACION
1	PAVAYACU	67-D	NUCLEO 01	2882.0 m - 2894.5 m	97.68%
2	PAVAYACU	79-D	NUCLEO 02	2809.0 m - 2818.6 m	99.00%
3	PAVAYACU	79-D	NUCLEO 03	2818.5 m - 2833.0 m	100.00%
4	CORRIENTES	12-XC	NUCLEO 01	2849.9 m - 2866.6 m	79.00%
5	CORRIENTES	12-XC	NUCLEO 02	2866.6 m - 2881.0 m	87.30%
6	CORRIENTES	12-XC	NUCLEO 03	2881.0 m - 2896.2 m	47.50%
7	CORRIENTES	44-XC	NUCLEO 03	2854.5 m - 2873.3 m	72.00%
8	CORRIENTES	44-XC	NUCLEO 04	2873.3 m - 2891.2 m	82.00%
9	CORRIENTES	44-XC	NUCLEO 05	2891.2 m - 2909.5 m	100.00%
10	CORRIENTES	116-D	NUCLEO 01	3026.3 m - 3035.0 m	85.00%
11	CORRIENTES	116-D	NUCLEO 02	3035.3 m - 3044.5 m	88.00%
12	CORRIENTES	116-D	NUCLEO 03	3044.7 m - 3054.1 m	100.00%
13	CORRIENTES	116-D	NUCLEO 04	3054.1 m - 3063.5 m	100.00%
14	YANAYACU	32-X	NUCLEO 02	3408.0 m - 3417.1 m	93.30%
15	YANAYACU	27-X	NUCLEO 02	3515.6 m - 3533.5 m	100.00%

### 5.1.3. PREPARACIÓN Y EQUIPOS

El procedimiento seguido en la preparación y el estudio de las muestras para observación directa comprende:

- Ubicar las profundidades deseadas en los intervalos de los núcleos definidos y proceder a seccionarlos.
- Estas muestras se introducen individualmente en bolsas de polietileno, etiquetada con los siguientes datos: reservorio, pozo, núcleo y profundidad.
- Previo a su estudio las muestras se lavan con el fin de eliminar la impregnación del lodo de perforación y las impurezas externas.

- Examen macroscópico directo de las muestras a simple vista y con ayuda de una lupa (10X).
- Examen al microscopio binocular (20X) de las muestras, similar al anterior, para la descripción litológica y sedimentológica.
- Pruebas con ácido clorhídrico (diluido al 10%), para determinar la presencia de carbonatos en las muestras.

Los equipos y accesorios utilizados para el estudio de las muestras comprenden:

- Lupa de Mano (10X), punzón o clavo de acero.
- Binocular American Optical - Mod. 570 (20X).

### 5.1.4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS

La descripción litológica de los núcleos correspondientes a la roca reservorio en estudio se presentan en 07 láminas.

Debemos remarcar que anteriormente geólogos de Petróleos del Perú efectuaron descripciones litológicas en la mayoría de estos núcleos, por lo cual se trato de revisar y complementar la descripción litológica de cada núcleo seleccionado de las areniscas del reservorio Pona correspondientes a los yacimientos en estudio (Pavayacu, Corrientes y Yanayacu), los cuales se presentan finalmente en las Láminas: N°01, N°02, N°03, N°04, N°05, N°06 y N° 07.

*Lamina N° 01. Descripción de núcleos convencionales. (Yacimiento Pavayacu; Pozo 67-D)*

*Lamina N° 02. Descripción de núcleos convencionales. (Yacimiento Pavayacu; Pozo 79-D)*



Lamina N° 03. Descripción de núcleos convencionales. (Yacimiento Corrientes; Pozo 12-XC)

Lamina N° 04. Descripción de núcleos convencionales. (Yacimiento Corrientes; Pozo 44-XC)

Lamina N° 05. Descripción de núcleos convencionales. (Yacimiento Corrientes; Pozo 116-D)

Lamina N° 06. Descripción de núcleos convencionales. (Yacimiento Yanayacu; Pozo 32-X)

Lamina N° 07. Descripción de núcleos convencionales. (Yacimiento Yanayacu; Pozo 27-X)

## 5.2. SECCIONES DELGADAS

### 5.2.1. GENERALIDADES

---

Tanto la descripción mineralógica de las areniscas del reservorio Pona como los estudios diagenéticos requieren el uso de secciones delgadas. Los cuales se estudian bajo un microscopio petrográfico (luz transmitida), para la identificación y cuantificación de los minerales componentes, incluyendo la matriz y/o material cementante, así como el estudio de las características texturales. Se dispone de técnicas ópticas para la identificación de los minerales varios (Mineralogía Óptica, P.F. Kerr).

Para el estudio diagenético del reservorio Pona se realiza un reconocimiento de los cambios de composición y textura que ocurren en las muestras (secciones delgadas) a presiones y temperaturas relativamente bajas, después que ocurre su depositación, pudiendo pasar por varias fases diagenéticas, lo cual nos da un conocimiento del ambiente sedimentario, así como el orden de acumulación de los minerales componentes (secuencia paragenética) y finalmente una discusión de los procesos diagenéticos a que fue sometido el sedimento después de su depositación hasta probablemente su conformación como reservorio.

Debemos destacar que tanto la descripción mineralógica (microscópica) y los estudios diagenéticos se pueden hacer independientemente uno de otro; sin embargo se realizó un estudio simultáneo de ambos temas por considerar que hay una relación directa entre ellos.

### 5.2.2. UBICACIÓN Y SELECCIÓN

---

Las secciones delgadas correspondientes al reservorio Pona, se prepararon de los núcleos seleccionados anteriormente, en los niveles más representativos y/o donde existen cambios porcentuales de los componentes mineralógicos del reservorio (detritos, matriz y cemento), basados en la interpretación de los registros eléctricos.

Se presenta la ubicación de las secciones delgadas estudiadas del reservorio Pona en la Tabla N°01. Para este tema se evaluaron 30 secciones delgadas.

SECCION	YACIMIENTO	PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD	UBICACIONES
8-01	Pavayacu	87-0	2010.00 m	86.CC.02-01
8-02	Pavayacu	87-0	2010.00 m	86.CC.02-01
8-03	Pavayacu	87-0	2010.00 m	86.CC.02-01
8-04	Pavayacu	87-0	2010.00 m	86.CC.02-01
8-05	Pavayacu	79-0	2010.00 m	86.CC.02-02
8-06	Pavayacu	79-0	2010.00 m	86.CC.02-02
8-07	Corrientes	72-0	2010.00 m	86.CC.02-03
8-08	Corrientes	72-0	2010.00 m	86.CC.02-03
8-09	Corrientes	72-0	2010.00 m	86.CC.02-03
8-10	Corrientes	72-0	2010.00 m	86.CC.02-03
8-11	Corrientes	44-0	2010.00 m	86.CC.02-04
8-12	Corrientes	44-0	2010.00 m	86.CC.02-04
8-13	Corrientes	44-0	2010.00 m	86.CC.02-04
8-14	Corrientes	44-0	2010.00 m	86.CC.02-04
8-15	Corrientes	44-0	2010.00 m	86.CC.02-04
8-16	Corrientes	44-0	2010.00 m	86.CC.02-04
8-17	Corrientes	44-0	2010.00 m	86.CC.02-04
8-18	Corrientes	44-0	2010.00 m	86.CC.02-04
8-19	Corrientes	118-0	2010.00 m	86.CC.02-05
8-20	Corrientes	118-0	2010.00 m	86.CC.02-05
8-21	Corrientes	118-0	2010.00 m	86.CC.02-05
8-22	Corrientes	118-0	2010.00 m	86.CC.02-05
8-23	Yanayacu	37-0	2010.00 m	86.CC.02-06
8-24	Yanayacu	37-0	2010.00 m	86.CC.02-06
8-25	Yanayacu	37-0	2010.00 m	86.CC.02-06
8-26	Yanayacu	37-0	2010.00 m	86.CC.02-06
8-27	Yanayacu	37-0	2010.00 m	86.CC.02-06
8-28	Yanayacu	37-0	2010.00 m	86.CC.02-06
8-29	Yanayacu	37-0	2010.00 m	86.CC.02-06
8-30	Yanayacu	37-0	2010.00 m	86.CC.02-06

*Tabla N° 01. Secciones delgadas evaluadas del reservorio Pona. Yacimientos: Pavayacu, Corrientes y Yanayacu.*

### 5.2.3. PREPARACIÓN Y ADITIVOS

El procedimiento seguido para la elaboración de las láminas petrográficas correspondientes a la roca reservorio Pona, comprende los siguientes pasos:

- A) Seccionamiento
- B) Impregnación
- C) Desbaste
- D) Montaje
- E) Pulido
- F) Acabado

#### **A) Seccionamiento**

Se refiere al corte de la muestra (roca) por el petrótopo (Isachsen, 1951), siendo recomendable obtener una tableta rectangular de 30 x 18 m.m., con un espesor de aproximadamente 3 m.m.

La orientación del corte de las muestras en estudio, ha sido perpendicular al sentido de estratificación de la roca reservorio.

#### **B) Impregnación**

Cuando las rocas son friables, deleznable o fracturadas, necesitan ser firmemente cementadas con una sustancia aglomerante antes de montarlas sobre una lámina portaobjeto.

Las muestras a evaluarse en su mayoría son friables, por lo que se usó el método de "Impregnación al Vacío", mediante el cual se le inyectó resina epóxica (N° 20-6130) y un endurecedor AB (N° 20-8132).

Debemos mencionar que el uso de resina epóxica de color amarillo, cumple doble función pues también sirve para estimar la porosidad visual a través del microscopio de polarización.

**C) Desbaste**

Consiste en el desgaste de una de las caras de la tableta, mediante el uso de diferentes abrasivos de grueso a fino, como por ejemplo del Carburo de Silicio (Nº 120-600-1,000).

**D) Montaje**

Consiste en la adhesión de la superficie de fondo (cara desbastada) sobre una lámina portaobjeto, empleando un cemento termoplástico LAKESIDE 70, a temperatura de 140°C.

**E) Pulido**

Una vez montada la muestra sobre la lámina portaobjeto, se procede al desbaste de la cara descubierta (Paso C) hasta darle el pulido final con alúmina (abrasivo Nº 1000), con el que se logra conseguir el espesor de 0.03 m.m. (30 micras) que es el ideal para el estudio petrográfico y diagenético.

Debemos mencionar que el control del espesor ideal se realiza mediante la observación microscópica de los colores de interferencia (polarización) de minerales patrones o guías como: Cuarzo (Cz), Plagioclasas (PGLs), etc.

**F) Acabado**

Una vez conseguido el espesor ideal de 30 micras (pulido final), se procede a cubrir la plaqueta con una laminilla cubreobjeto, utilizando Bálsamo de Canadá, a una temperatura de 120°C.

Finalmente se le da su respectiva codificación y numeración a la nueva sección delgada o lámina petrográfica, que de estar correctamente realizado debe mostrar un notable grado de transparencia.

## 5.3. ANÁLISIS PETROMINERALOGICO

### 5.3.1. GENERALIDADES

---

El análisis petrográfico del reservorio Pona se efectuó en las 30 secciones delgadas, preparadas para este tema mediante el "Análisis Modal", la cual mide la composición mineral del reservorio y analiza la frecuencia relativa de abundancia de cada componente.

Existen numerosos métodos de análisis modal, desde los métodos primitivos consistentes en medir sobre dibujos de la textura, en que se pesaban aisladamente las superficies de cada mineral, hasta los actuales métodos automáticos (Dehoff y Rhines,

1972).

La base de estos métodos consiste en que el volumen ocupado por cada componente de una roca es proporcional a la superficie que ocupa sobre una sección y que una línea aleatoria (al azar) sobre esta superficie cortará a cada componente con una longitud total proporcional a la superficie que ocupa.

Los principales métodos experimentales de Análisis Modal, referidos a rocas sedimentarias, se agrupan en seis (6) categorías:

- a) Conteo de Areas (Delesse, 1848)
- b) Conteo de Granos (Fleet, 1962)
- c) Conteo de Líneas (Rosiwal, 1898)
- d) Conteo de Bandas (Van der Plas, 1902)
- e) Conteo de Puntos (Chayes, 1956)
- f) Estimaciones Visuales (Terry y Chilingar, 1955)

El método usado es el "Conteo de Puntos" (descrito más adelante) tanto para el análisis de la composición mineralógica (Tabla N°02), las características petrográficas en general (Tabla N°03) así como para el estimado de la porosidad aparente (Tabla N°06).

Para el estimado de los tipos de contacto granulares, el método usado es el "Conteo de Líneas" (descrito mas adelante), los cuales se muestran en la Tabla N° 04.

Para el estimado de los parámetros de empaque, el método usado es el mismo que para los contactos granulares, parcialmente modificado de acuerdo a la definición de estos parámetros (P.E., D.E. y N.C.), los cuales se muestran en la Tabla N° 05.

Simultanea y posteriormente se reconocieron las evidencias y/o signos de los procesos diagenéticos (Cap.6.3.) conforme se avanzaba en el barrido total de las secciones delgadas.

En cuanto al estimado de los tipos de porosidad secundaria se usó el método de "Análisis Visual" (Tabla N° 08), que también fue usado para corroborar los otros métodos utilizados.

### **5.3.2. EQUIPO UTILIZADO**

---

El análisis petrográfico y diagenético de las secciones delgadas se efectuaron en un microscopio polarizante Leitz Wetzlar, tipo Ortholux II Pol-BK, perteneciente al Laboratorio de Geología de Petróleos del Perú S.A.

Este microscopio presenta un sistema de revolver con 5 objetivos: 4X/0.12, 6.3X/0.16, 10X/0.25, 25X/0.65, 40X/0.75, mientras los oculares son de 10X con una longitud del tubo ocular de 16 m.m.

Los objetivos más usados fueron: 4X/0.12, 6.3X/0.16 y 10X/0.25, tanto para el análisis petrográfico como para el diagenético, de acuerdo al tamaño de los componentes mineralógicos, diagenéticos y al campo de observación a analizarse.

Para el microfotografiado de las secciones delgadas de las areniscas del reservorio Pona se usó un equipo automático WILD PHOTOAUTOMAT, tipo MPS - 45, el cual es compatible con este tipo de microscopio. El rollo de película usado para las copias a color de las secciones delgadas evaluadas es KODAK - GOLD, tipo GA135-24 (35 m.m.).

### 5.3.3. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

---

Se constituye en el carácter petrográfico más destacado de la roca sedimentaria, permitiéndonos inferir los ciclos sedimentarios por los que ha pasado el sedimento y en definitiva revelar la historia de este tipo de roca.

La composición mineralógica de la roca del reservorio Pona se muestra en la Tabla N°02.

En cuanto a las características petrográficas (texturales) de la roca reservorio se muestran en la Tabla N°03, conjuntamente con la clasificación petrográfica de R. Folk (1965) para estos tipos de rocas reservorio (Anexo N°01).

Para el estimado y análisis de los componentes detríticos de cada sección delgada en estudio del reservorio Pona, se utilizó uno de los métodos del análisis modal: el "Conteo de Puntos". Este método consiste en inscribir una imaginaria superficie rectangular en la sección delgada, el cual es grillado equidistantemente, contándose los granos minerales en cada una de las intersecciones del grillado (líneas horizontales, perpendiculares entre sí), utilizándose para esto el carro portaobjeto, el cual presenta dos brazos de medición rectos entre sí de 20 x 40 m.m.

Para el análisis modal, F.Chayes (1956), creador de este método, recomienda barrer un total de 1,000 puntos. Sin embargo, Folk (1968), recomienda como suficiente el conteo de 250-500 puntos.

Asimismo, la compañía de servicios CORE LAB (Boletín-1986), recomienda para el análisis de conteo mineralógico entre 250-300 puntos.

En el análisis modal de los constituyentes mineralógicos de las secciones delgadas de este reservorio, se hizo el conteo de 375 puntos, utilizándose un grillado equidistante de 1 m.m., inscribiéndose un área rectangular imaginaria de 25 x 15 m.m.

El resultado del análisis modal de los minerales presentes en las secciones delgadas de esta roca reservorio se muestra en la Tabla N° 02, que de acuerdo a su frecuencia de abundancia, describiremos brevemente:

**Estudio diagenético del reservorio Pona en los yacimientos: Pavayacu, Corrientes y Yanayacu en el lote 8 - Cuenca Marañón**

Muestra	Mineral	Forma	Grano	Extinción	Cl. P.	Cl. F.	Forma	Méq.	Extinción	Cl. P.
M-01	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-02	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-03	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-04	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-05	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-06	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-07	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-08	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-09	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-10	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-11	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-12	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-13	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-14	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-15	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-16	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-17	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-18	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-19	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-20	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-21	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-22	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-23	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-24	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-25	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-26	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-27	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-28	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-29	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0
M-30	Pluvia	SP	SP	SP	10.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0

Tabla N° 02. Composición mineralógica del reservorio Pona. Análisis modal: Conteo de puntos.

**CUARZO:** Es el mineral más frecuente de los sedimentos, es el componente principal de las areniscas de esta roca reservorio en un porcentaje que varía entre 65.5 % y 95.4 % (M-24 y M-16), según el análisis modal del total de las muestras observadas al microscopio petrográfico.

Este mineral es fácilmente reconocible en las secciones, pues presenta las siguientes características micropetrográficas: posee un alto grado de estabilidad en comparación con los otros minerales constituyentes (ninguna o poca alteración), además carece de clivaje y maclado, presentando extinción recta y/o ondulada (Fotos: N°06, N°09 y N°10).

El tamaño medio de grano está próximo a 0.250 m.m. y su forma varía de subredondeado a subanguloso (Tabla N°03 y Anexo N°03), estas características son importantes en la interpretación energética de las condiciones de transporte, debido a su gran dureza.

El cuarzo es un mineral detrítico muy estable, tanto mecánica como químicamente, por lo que es el componente idóneo para el estudio textural y las variaciones diagenéticas en sedimentos, ya que aún siendo el mineral más estable (según la Escala de Goldich) no lo es absolutamente, pudiendo sufrir variaciones por disolución, lixiviación (corrosión), despulido, fracturación, y sobrecrecimiento, capaces de reflejar las vicisitudes evolutivas e históricas del material que lo contiene. Existen evidencias de esta lixiviación de algunos granos de cuarzo en las secciones observadas (Fotos: N°08, N°12 y N°13) que posiblemente fueron afectados por fluidos alcalinos migrantes.

La extinción de estos granos es principalmente "ondulante" que evidenciaría el efecto de una presión preexistente considerable en estos, reconocido bajo nicoles cruzados como "sombras de deformación" o "extinción ondulada".

Cuanto más fuerte la presión, más pronunciadas serán las sombras de deformación. Sabemos que el cuarzo de las rocas metamórficas se caracteriza por una notable extinción ondulante, por lo que se deduciría que estos granos constituyentes del



reservorio en estudio, provendrían en su mayoría de este tipo de rocas (Escudo Guayano-Brasilero).

Nº	Yacimiento	Litología	Clasificación
M-16	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-17	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-18	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-19	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-20	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-21	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-22	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-23	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-24	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-25	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-26	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-27	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-28	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-29	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-30	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-31	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-32	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-33	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-34	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-35	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-36	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-37	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-38	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-39	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-40	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-41	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-42	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-43	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-44	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-45	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-46	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-47	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-48	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-49	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-50	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-51	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-52	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-53	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-54	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-55	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-56	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-57	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-58	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-59	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-60	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-61	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-62	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-63	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-64	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-65	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-66	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-67	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-68	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-69	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-70	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-71	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-72	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-73	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-74	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-75	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-76	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-77	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-78	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-79	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-80	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-81	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-82	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-83	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-84	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-85	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-86	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-87	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-88	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-89	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-90	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-91	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-92	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-93	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-94	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-95	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-96	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-97	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-98	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-99	Pavayacu	M	Metasedimentaria
M-100	Pavayacu	M	Metasedimentaria

Tabla Nº 03. Características Petrográficas del reservorio Pona. Yacimientos: Pavayacu, Corrientes y Yanayacu.

Se ha observado asimismo algunos granos de cuarzo con sobrecrecimiento en continuidad cristalográfica y óptica con el núcleo detrítico (Fotos: N°10 y N°15), producto de la sobresaturación de sílice en el medio diagenético precipitando en los puntos de contactos de los granos (Fig. N°12) ante el incremento de la presión de sobrecarga y/o presencia de fluidos con alto porcentaje de iones silíceos (ver Autigénesis, más adelante).

Se ha intentado establecer varios criterios de clasificación de cuarzos según su procedencia, siendo las características más empleadas:

- Las inclusiones
- La extinción
- La forma de los granos

Pero ninguna resulta totalmente satisfactoria. Sin embargo, de los trabajos de Gillian (1920), Tyller (1936), Krynine (1940-42-46), Keller (1950), Blatt y Christie (1963), Folk (1965), Blatt, Middleton & Murray (1972) y Lucas (1976), entre otros, se pueden diferenciar hasta seis tipos de clastos distintos de cuarzo, agrupándolos en dos clases:

**A) Cuarzo Monocristalino**

Presentándose mayoritariamente en las secciones evaluadas con un intervalo entre 93.5 % (M-16) y 64.7 % (M-24), caracterizado por estar formados por cristales o fragmentos de cristales individuales de cuarzo, más o menos equidimensionales y generalmente predominan los tamaños pequeños (< 0.250m.m.), por su origen puede diferenciarse en tres tipos:

- De origen granitoideo
- De origen volcánico
- De origen filoneano

De acuerdo a las características observadas en los clastos del reservorio: superficie irregular, extinción ondulante a recta y ocasionales inclusiones microlíticas aciculares a rectas (Fotos: N°02 y N°04) nos evidenciarían que provendrían mayoritariamente de rocas de origen Granitoideo.

### **B) Cuarzo Policristalino**

Se presentan en forma restringida en las secciones evaluadas con un intervalo entre 0.8 % (M-24) y 4.8 % (M-09), caracterizadas por estar formadas por una asociación de cristales de cuarzo perfectamente definidos por bordes sinuosos o suturados, por su origen puede diferenciarse en otros tres tipos de clastos:

- De origen Metamórfico
- De origen Esquisto-Metamórfico y
- De origen Metamórfico Fuerte

De acuerdo a las características observadas: superficie planas, más o menos redondeados, no presentan alguna orientación preferente, uniones suturadas paralelas, extinción ondulante, podrían indicarnos que provienen de rocas de origen metamórfico como el gneis o esquisto (M-09; Foto N°06).

**FELDESPATOS:** Generalmente forman el segundo componente en los sedimentos de roca detríticas, sin embargo en las secciones observadas se hallan en ligeras cantidades que varían desde trazas (M-26 y M-27) a 6.8 % (M-13).

Los feldespatos son silicatos alumínicos potásicos sódicos o cálcicos ( $\text{Si}_3\text{O}_8\text{Al}\mu$ ), en la que " $\mu$ " representa los cationes de K, Na o Ca.

Se distinguen dos tipos de feldespatos: 1) Feldespatos potásicos (ortosa y microclina) y 2) Plagioclasas (feldespatos calcosódicos). Estas variedades no tienen igual estabilidad. Según Goldich las variedades ricas en calcio (labradorita, bytownita y anortita) son menos estables que los alcalinos.

Esta observación explica porque los feldespatos alcalinos, especialmente la microclina, son mucho más comunes en la mayoría de areniscas y en el reservorio de estudio.

La estabilidad de los feldespatos "dentro" de una arenisca no es la misma que en el suelo. Dentro del sedimento, el feldespato no sólo es estable sino que propende a adquirir crecimiento secundario.

Como estos últimos se forman puramente por feldespato sódico o potásico, parece probable que estas especies sean estables y que las variedades ricas en calcio no lo son tanto a temperaturas y presiones más bajas. Sin embargo, en las areniscas que tienen cemento carbonático estos feldespatos detríticos están comúnmente corroídos por este ambiente básico, como lo que se observa en el reservorio en estudio (Fotos: N°07, N°09 y N°11).

Los feldespatos en los sedimentos no tienen el mismo significado que en las rocas ígneas, es decir la clasificación de la roca no depende de la clase de feldespato que contenga. Más aún el "Método de Michel-Levy" que supone la presencia de una y sola

una plagioclasa, no es un método viable de identificación de estos, que en las areniscas pueden tener tantas variedades o clases de rocas feldespáticas originarias halla en el área de donde ha derivado el sedimento. Es así al microscopio micropetrográfico se utiliza otras características de identificación, que son muy semejantes al cuarzo, siendo a veces muy difícil su distinción de éste.

Las características ópticas más representativas de los feldespatos se resumen en:

- Índice de refracción:  $n <$  cuarzo y bálsamo de Canadá (principalmente aquellos ricos en potasio y sodio).
- Clivaje: generalmente perfectos en dos direcciones (principalmente la ortosa y microclina).
- Maclas: típicas de las plagioclasas (albita, periclina, etc), principalmente la microclina en forma de parillas (M-20; Foto N°11).
- Coloración: este método es el más rápido y seguro cuando se necesitan datos cuantitativos.

Consiste en tratar una superficie pulida o corte delgado de muestra, con una solución de ácido fluorhídrico. Luego se lava el material y se tiñe con un pigmento orgánico soluble en agua, como el verde malaquita: los feldespatos se colorearán, mientras que el cuarzo no se colorea, permaneciendo inalterable.

**MICAS:** Están representados en los sedimentos como muscovita, biotita y clorita, siendo más comunes en areniscas limolíticas finas.

En las secciones observadas se reconoce a la muscovita en ligeras cantidades que varían entre 0.5 % (M-18 y M-25) a 3.4 % (M-29) respectivamente.

Este tipo de mica es la más estable y procede generalmente de rocas metamórficas, mientras que la biotita es un filosilicato muy inestable alterándose por lo general en clorita, o más raramente en glauconita (M-21; Foto N°12).

Las micas de tamaño arena son escasas, pero su frecuencia se debe a su resistencia en el medio subacuático en parte debido a su comportamiento hidrodinámico (Berthois, 1965) que impide que aparezcan redondeadas.

Doyle, Cleary y Pilkey (1968), Adegoke y Sanley (1972) han destacado el papel de la mica como indicador del medio sedimentario en base a sus características hidrodinámicas.

Su reconocimiento micropetrográfico se evidencia por: su hábito laminar en forma de hojuelas o tiras prensadas entre detritos de cuarzo, exfoliación en una dirección, alta birrefringencia, y extinción paralela a las trazas de exfoliación (M-10; Foto N°07, M-18 y M-20).

**GLAUCONITA:** Término utilizado para designar una especie mineral micáceo-arcillosa hidratada y rica en hierro, compuesto por granos verdosos de tamaño arena que ocurren en sedimentos marinos (Fairbridge, 1967 - Mc Rae, 1972).

Este mineral químicamente es un silicato complejo de hierro, aluminio, magnesio y a diferencia de otros silicatos con hierro, contiene potasio. Su composición química se

expresa en la siguiente fórmula:  $K Mg (Fe, Al) (SiO_3)_{6.3} H_2O$ .

En las secciones observadas la glauconita se presenta en regulares cantidades que abarcan un intervalo desde trazas (M-13 y M-14) a 28.4 % (M-24) respectivamente.

El aspecto de estos granos de glauconita es variado, siendo lo más frecuente tamaños entre 0.06 y 0.60 m.m., apareciendo también finamente divididos y rellenando intersticios y fracturas.

Los hábitos más comunes que presentan estos granos son: granular, redondeada, ovoide, polibobada, pellas, pellets y framboidales (M-30; Foto N°18).

Aunque la estructura interna es generalmente microcristalina puede aparecer orientada en forma fibrosa-radiada, micácea, (M-21; Foto N°12), de reemplazamiento de restos de organismos, etc.

En sección delgada los gránulos de glauconita normalmente son de color verde oliva a verde césped (M-24; Foto N°14).

La morfología de la glauconita se utiliza para definir los procesos diagenéticos de formación de estos granos siendo los más frecuentes resultados de la alteración del relleno de restos orgánicos, pellets fecales, reemplazamiento de biotitas (M-21; Foto N°12) y de procesos de precipitación directa (Triplehorn, 1966).

Este mineral es importante, pues su génesis está restringido a "medios sedimentarios marinos" exclusivamente, aunque se han citado algunos casos de glauconita lacustre en medios salinos ricos en potasio.

El medio sedimentario marino sería el de condiciones de salinidad normal, con potencial redox ligeramente oxidantes. La materia orgánica en descomposición facilita la génesis de la glauconita, con unas condiciones de oxigenación necesaria para la oxidación de la materia orgánica (temperaturas entre 15°C y 20°C), profundidad mínima de 15 metros y débil a nula velocidad de sedimentación.

La glauconita por oxidación se altera cambiando su color de verde a amarillo o pardo amarillento.

Existen dos tipos de glauconitas: a) Autígena (ortoquímica) y b) Detrítica (aloquímica), esta distinción se basa en el análisis de la textura del sedimento o roca. En las láminas petrográficas probablemente los granos de glauconita se presentan bajo estos dos tipos (autígeno y alotígeno). El primero porque forma una envoltura o cubierta en los detritos y/o micas como se aprecia en las muestras: M-28 (Foto N°17) y M-30 (Foto N°18).

Las glauconitas alotígenas se reconocen porque su tamaño es casi del mismo orden que el resto de los detritos componentes, algunos presentando grietas o fracturas que es más perceptible en hábitos detríticos, hallándose además cementados de igual manera que estos, tal como se aprecia en las muestras: M-24 (Foto N°14) y M-26 (Foto N°16).

**ACCESORIOS COMPONENTES:** Son aquellos componentes minerales de menos abundancia, pero que presentan gran interés en las areniscas, debido a su gran resistencia y estabilidad, razón por la cual se utiliza la identificación de la roca madre.

Comúnmente son conocidos como "minerales pesados" debido a su elevado peso

específico superior a 2.85 (p.e. del bromorfo). Estos son los minerales accesorios secundarios de las areniscas que poseen peso específico mayor que el promedio.

En los slides observados, estos accesorios se presentan en ínfimas cantidades que varían desde trazas (M-06) a 3.3 % (M-26).

Micropetrográficamente se ha dividido a estos accesorios en dos grupos: a) Transparentes y b) Opacos, subdividiéndose estos en muy estables y parcialmente estables.

Entre los accesorios transparentes muy estables predominan: circón, rutilo y turmalina, mientras que entre los menos estables predominan: epidota, hornblenda, granates, olivino, piroxenos, etc. En cuanto a los accesorios opacos los más importantes son: hematitas, ilmenita, leucoxeno, magnetita y pirita.

De estos minerales accesorios se identificaron: circones (M-12), anfíboles (M-19) y pirita (M-25).

Los circones se presentan como cristales ocasionales diminutos principalmente de hábito prismático, pero también en forma irregular o redondeada. Se caracterizan ópticamente por: ser mayormente incoloro en sección delgada, ausencia de exfoliación, relieve muy notable, alta birrefringencia y extinción paralela (M-12; Foto N°08).

Los anfíboles se presentan ocasionalmente en las secciones delgadas correspondientes al Pozo 116-D, yacimiento Corrientes (M-19 y M-21), presentando también algunas trazas de hematitas (oxidaciones pardo-rojizas) normalmente asociado a arcillas detríticas.

La pirita es un sulfuro de hierro ( $Fe_2S$ ) presente en algunas de las secciones del yacimiento Yanayacu (M-26, M-27 y M-28), caracterizadas por su hábito euhédrico de contornos cuadrados y rectangulares así como también redondeados e irregulares (M-26; Foto N°16). Son comunes en presencia de materia orgánica, y son más estables que otros sulfuros como la marcasita.

En conclusión de los minerales accesorios encontrados en la roca reservorio se consideran como minerales diagenéticos menores (autígenos) a la pirita y hematita que afectarían mínimamente a los parámetros petrofísicos del reservorio, dada su escasa presencia. Mientras que el circón y el anfíbol son considerados detríticos metaestables a estables.

**MATERIA ORGÁNICA Y COMPONENTES ORGANOGENOS:** Casi todos los sedimentos marinos contienen materia orgánica o restos de organismos animales o plantas y en algunos casos es el principal componentes.

Según Trask se presentan en porcentajes entre 10% y 0.5%.

Todos los órganos animales o vegetales tienen diferentes composiciones según la función que han de ejercer, es así que tenemos órganos blandos y órganos duros. Los órganos blandos están compuestos generalmente por glúcidos, lípidos, protidos y ácidos nucleicos, mientras están formados por glúcidos polisacáridos (glucógeno, celulosa, quitina, etc) e incluso por componentes inorgánicos, como carbonatos y fosfatos, esencialmente ricos en calcio.

Según el análisis modal (Tabla N°06) de las láminas petrográficas la materia orgánica se presenta en regular porcentaje que varía entre 0.5 % (M-04) y 12.1% (M-17) consistiendo básicamente de: bioclastos orgánicos, residuos o películas carbonosas y fragmentos de materia orgánica opacas. Presumiblemente estos se habrían originado de las partes duras de organismos, pues los órganos blandos desaparecen rápidamente en estos ambientes, generalmente por la acción bacteriana y la oxidación. También la materia orgánica observada esta asociada usualmente con las arcillas presentes en el reservorio y se encuentran dispersas a lo largo de láminas delgadas o películas algunas de formas estilolíticas (M-14).

La cantidad de materia orgánica conservada es el producto de "una ecuación entre la velocidad de aporte de materia orgánica y la velocidad de descomposición". Depende de la composición química, la velocidad de crecimiento de los materiales orgánicos, la velocidad de sepultamiento y la velocidad de descomposición después de su enterramiento.

Por lo general son difíciles de determinar o identificar, por lo que mejor se estima la cantidad y tipos de materiales orgánicos por extracción y análisis químicos (geoquímica orgánica).

**ARCILLAS:** Se presentan bajo la forma de "matriz" en las areniscas, es decir rellenan los espacios intersticiales entre los granos de arena. En las secciones delgadas, según el análisis modal (Tabla N°06), la matriz arcillosa intersticial se encuentra en un porcentaje que varía entre 0.4 % (M-04) y 21.9 % (M-24).

Cuando los silicatos de las rocas cristalinas, primarias se descomponen por meteorización, dan entre otras cosas, un grupo de minerales conocidos como los "minerales arcillosos". Los cuales son silicatos hidratados de aluminio, por lo general con algunos reemplazos de hierro y magnesio (Grim, 1962; Millot, 1969). Los minerales arcillosos son filosilicatos, esto es, poseen una estructura laminar similar al de las micas. Estos minerales son de grano fino, generalmente de tamaño menor de 5 micras (0.005 m.m.), con frecuencia aún más pequeños, y en algunos casos llegan al milimicron (0.001micras). Los más importantes minerales arcillosas son: la "caolinita" que se forma por una intensa meteorización con pérdida de potasio; la "illita" de igual composición pero con mas potasio que la caolinita, ambos de naturaleza detrítica, aunque pueden tener al igual que el resto de los minerales de arcilla, un origen diagenético (autígeno).

La "montmorillonita" se forma en medios ricos en magnesio, usualmente por alteración de material volcánico, y por meteorización de rocas básicas. La clorita, illita y sericita forman un enlace con los minerales micáceos, se incluyen en las arcillas cuando corresponde a granos muy finos.

Debido a su grano fino, los minerales arcillosos son difíciles de identificar con certeza, más aún diferenciarlas unos de otros en las laminas de sección delgada. Por lo que se necesitan técnicas especiales como: análisis químicos, ópticos, difracción de rayos X (XRD), o un scanning - SEM (microscopio de barrido electrónico), los cuales determinaran su composición y morfología, identificando uno o más tipos de arcillas.

En las secciones delgadas las arcillas coexisten conjuntamente con partículas: cuarzosas (tamaño limo grueso), ferruginosas, micritas calcáreas y fragmentos diminutos

de rocas, formando la matriz que empasta los granos detríticos del reservorio.

En el reservorio Pona no se ha efectuado ningún tipo de pruebas especiales de reconocimiento de arcillas, pero se infiere la presencia de caolinita e illita, según estudios de corrección de arcillosidad y métodos computarizados de análisis de reservorios como el ELAN.

Estos tipos de arcillas son principalmente diagenéticas; es decir de origen autógeno en areniscas, según Sthelton (1964) y Wilson & Pittman (1977) que podría ser el caso parcialmente en el reservorio Pona. Las arcillas además contienen impurezas y están asociados a materia orgánica, como es el caso de las muestras correspondientes al yacimiento Corrientes (M-07 a M-22) que se caracterizan por una ligera coloración pardo-rojiza, debido a los vestigios de elementos orgánicos (bioturbación) e incipiente óxidos ferruginosos (gohetita).

**CARBONATOS:** Se presentan como precipitados químicos, es decir forman el cemento de las areniscas. Siendo las más abundantes: la calcita y la dolomita, y menos frecuentes son la aragonita, la ankerita y la siderita.

El principal material cementante en la mayoría de areniscas y en el reservorio Pona es la calcita.

Según el análisis modal (Tabla N°06) este carbonato de calcio de fórmula  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  se encuentra en un intervalo que varía desde trazas (M-06, M-10, M-16, M-17 y M-30) a 30.7 % (M-05), excepto en dos secciones delgadas (M-24 y M-28).

La calcita se presenta bajo tres aspectos:

**Micrita:** Lodo calcítico microcristalino, en cristales de 1 a 10 micras, producto de la precipitación química o bioquímica. Ocurre principalmente en las muestras de este reservorio, correspondientes al yacimiento Pavayacu (M-01 a M-06) coexistiendo con las componentes arcillosos y materia orgánica dentro del espacio poral, los cuales engloban (rodean y aíslan) a los componentes detríticos presentes en el reservorio Pona, (Fotos: N°01, N°02 y N°03).

**Microesparita:** Cemento de calcita con cristales de 10 a 80 micras, originado por la recristalización de la micrita. Se presenta principalmente en las muestras de este reservorio, correspondientes al yacimiento Pavayacu (M-02, M-05 y M-06), en menor orden en los yacimientos: Corrientes (M-16 y M-19) y Yanayacu (M-25), (Fotos: N°02, N°03, N°04, N°09, N°11 y N°13).

**Esparita:** Cemento de calcita con cristales superiores a 80 micras, claras al microscopio a manera de mosaico de cristales que envuelven varios granos detríticos (M-05; Foto N°03), diferenciados unos de otros por su diferente extinción al girar la platina, pueden ser formadas por precipitaciones posteriores a la acumulación de los granos detríticos o por recristalización de la micrita. Se observó principalmente en las muestras correspondientes al yacimiento Corrientes (M-11, M-15 y M-19), en menor orden en el yacimiento Yanayacu (M-25) y Pavayacu (M-04 y M-05).

En general las características ópticas de la calcita reconocidas al microscopio de luz polarizada principalmente en la esparita son:

- Incoloro, en sección delgada
- Exfoliación romboédrica
- Relieve variable según la dirección
- Alta Birrefringencia (4to orden)
- Extinción simétrica con respecto a la exfoliación.

#### **5.3.4. TIPOS DE CONTACTO**

---

Son parámetros cualitativos de gran interés que nos permite interpretar el grado de compactación a que están sometidas las areniscas reservorio y que va a ser evidenciado por la ocurrencia de formas de contacto entre sus granos detríticos.

Conforme aumenta la presión de sobrecarga y por consiguiente el enterramiento, se producirá inicialmente un reordenamiento de contactos entre los granos, que va desde el contacto más suelto hasta progresivamente el más apretado, produciéndose a mayor profundidad el efecto diagenético de Presión-Solución en el cual los granos llegan a cementarse entre sí. También ocurren fenómenos de sobrecrecimiento (excrecencias) y películas estilolíticas principalmente de materia orgánica.

Se presentan a continuación cinco tipos de contacto intergranulares (Fig. N° 11) que son los siguientes:

1. Contacto Grano Flotante: Los granos se encuentran dispersos o flotando, no existiendo contacto entre ellos. Generalmente ocurren en areniscas con alto contenido de matriz y/o cemento. También se le conoce como "Soporte de matriz".

2. Contacto Tangencial: Los granos se tocan entre sí en un punto cualquiera de su superficie. También es conocido como "Contacto Puntual".

3. Contacto Recto: Los granos se tocan entre sí en forma de un segmento de línea o recta. También es conocido como "Contacto longitudinal"

4. Contacto Sinuoso: Los granos se tocan entre sí en forma curva. También es conocido como "Contacto Concavo-Convexo".

5. Contacto Suturado: Los granos se interpenetran entre sí en formas estilolíticas. También es conocido como "Contacto Crenulado".

Los valores de los tipos de contacto que presentan estas muestras del reservorio Pona se presentan en la Tabla N° 04, los cuales serán analizados mas adelante (Cap. 5.3.6)

Cabe mencionar que no sólo la compactación va a determinar el tipo de contacto según su notable o escasa presencia, pues en parte el contacto de grano está relacionado a la cantidad presente de arcilla (detrítica y/o diagenética) en la arenisca. Si existe un alto contenido de arcillas, esta protegerá los granos de cuarzo de la disolución de los puntos de contacto y los granos ostentarán principalmente contactos grano flotante o tangencial.





Figura N° 11. Tipos de contactos en areniscas

### 5.3.5. PARÁMETROS DE EMPAQUE

El empaque es definido como la configuración geométrica de las partículas en el campo gravitatorio. También se refiere a las mutuas relaciones espaciales entre los granos constituyentes de una roca. Existen teóricamente 6 tipos principales de empaque en las rocas clásticas, desde el empaque isométrico al romboédrico

Los parámetros de empaque nos permiten hallar valores cuantitativos que van a indicar el grado de compactación sufrido por estas areniscas reservorio.

Los parámetros de empaque analizados para la roca reservorio Pona según el modelo de Kahn (1956) y complementados con los estudios de Pereira Suárez (1968) se presentan a continuación:

**DENSIDAD DE EMPAQUE (D.E.):** Es el porcentaje de espacio ocupado por los granos detríticos en la sección delgada. Siendo inversamente proporcional a la porosidad. Constituyéndose como una propiedad escalar y no dimensional.

Responde a la siguiente fórmula:

$$D. E. = \frac{\sum li}{L} \times 100$$

Donde:

D. E.: Densidad de Empaque en %.

$\sum li$ : Sumatoria de longitudes de los granos interceptados en una línea transversal.

L: Longitud total de la línea transversal.

**PROXIMIDAD DE EMPAQUE (P.E.):** Es el porcentaje de acercamiento o estrechez que ocurre entre granos individuales con sus adyacentes. Generalmente es directamente proporcional a la densidad de empaque; siendo también una propiedad escalar no dimensional.

Responde a la siguiente fórmula:

$$P.E. = \frac{N.C. \times 100}{G}$$

Donde:

P.E: Proximidad de empaque en %

N.C.: Número de contactos grano a grano observados en la línea transversal.

G: Número total de granos observados en la línea transversal.

**CONTACTOS GRANULARES (C.G.):** Es el número promedio de la frecuencia con que los granos detríticos se tocan entre sí.

Responde a la siguiente fórmula:

$$C.G. = \frac{\sum N^{\circ}Ct}{G}$$

Donde:

C.G: Número de contactos intergranulares.

$\sum N^{\circ}Ct$ : Sumatoria del número de contactos entre los granos.

G: Número total de los granos.

Después de definir convenientemente los parámetros de empaque podemos concluir que estos son directamente proporcionales entre sí e inversamente proporcionales a la porosidad. Es decir cuando la densidad de empaque (D.E.) se incrementa, tanto mayor aumenta la proximidad de empaque (P.E.) y los contactos granulares (C.G.); mientras que la porosidad (primaria) experimenta un decrecimiento progresivo.

Los valores de estos parámetros de empaque se presentan en la Tabla N° 05 que muestran los resultados porcentuales de estos parámetros en las muestras de la roca reservorio Pona.

Finalmente, estos parámetros de empaque nos van a ayudar directamente a establecer el grado de compactación de esta roca reservorio.

### 5.3.6. ANÁLISIS DE CONTACTO Y EMPAQUE

---

Gran parte de este trabajo está relacionado a los contactos granulares en estas secciones delgadas, para conocer sus propiedades petrofísicas; relaciones espaciales entre sus granos; inferir la distribución tridimensional de los granos y el tipo de fábrica o empaque ocurrente en el reservorio sobre la base de los datos de valores porcentuales mostrados en las Tablas N° 04 y 05.

IDENTIFICACION	YACIM. - POZO	PROFUNDIDAD	E. G.	P. G.	C. G.
M-01	PAVAYACU 67-D	2802.22	38.5	39.7	38.2
M-02	PAVAYACU 67-D	2808.40	32.9	35.9	40.6
M-03	PAVAYACU 67-D	2812.70	22.1	25.1	38.9
M-04	PAVAYACU 67-D	2815.10	24.9	24.0	38.3
M-05	PAVAYACU 67-D	2819.00	40.1	37.0	24.2
M-06	PAVAYACU 79-B	2819.00	30.2	30.4	37.7
M-07	CORRIENTES 13-9C	2819.00	40.1	38.9	40.9
M-08	CORRIENTES 13-9C	2820.00	34.1	38.9	40.9
M-09	CORRIENTES 13-9C	2821.00	9.9	10.9	40.4
M-10	CORRIENTES 13-9C	2825.40	46.5	39.4	38.2
M-11	CORRIENTES 44-9C	2827.00	24.0	40.4	38.9
M-12	CORRIENTES 44-9C	2827.00	24.2	39.4	38.9
M-13	CORRIENTES 44-9C	2827.70	46.9	38.2	33.9
M-14	CORRIENTES 44-9C	2829.40	38.2	42.0	33.4
M-15	CORRIENTES 44-9C	2830.00	43.0	38.9	33.9
M-16	CORRIENTES 44-9C	2830.00	25.9	44.9	38.4
M-17	CORRIENTES 44-9C	2830.00	19.2	38.1	38.0
M-18	CORRIENTES 44-9C	2831.30	38.7	38.2	34.4
M-19	CORRIENTES 119-B	3008.00	38.9	38.9	48.9
M-20	CORRIENTES 119-B	3008.00	14.2	25.2	38.2
M-21	CORRIENTES 119-B	3008.00	18.4	24.9	48.9
M-22	CORRIENTES 119-B	3007.20	9.9	38.9	49.9
M-23	YANAYACU 27-B	3449.00	33.1	38.9	33.9
M-24	YANAYACU 27-B	3449.10	33.0	19.2	33.9
M-25	YANAYACU 27-B	3449.00	30.9	14.9	40.9
M-26	YANAYACU 27-B	3449.00	7.1	14.9	47.9
M-27	YANAYACU 27-B	3451.00	48.2	19.9	49.9
M-28	YANAYACU 27-B	3454.00	49.1	25.2	44.9
M-29	YANAYACU 27-B	3459.00	23.8	18.2	43.9
M-30	YANAYACU 27-B	3459.10	23.9	21.1	43.9

**LEYENDA:**

E. G. : CONTACTOS GRANULARES  
 P. G. : CONTACTOS RECTOS  
 C. G. : CONTACTOS INCLINADOS  
 O. G. : CONTACTOS OBLIQUOS  
 S. G. : CONTACTOS SUBPARALELOS

Tabla N° 04. Tipos de contactos granulares en el Reservorio Pona. Yacimientos: Pavayacu, Corrientes y Yanayacu.

IDENTIFICACION	YACIM. - POZO	PROFUNDIDAD	E. G.	P. G.	C. G.
M-01	PAVAYACU 67-D	2802.22	60.4	38.0	9.9
M-02	PAVAYACU 67-D	2808.40	29.8	48.1	9.8
M-03	PAVAYACU 67-D	2812.70	60.5	40.4	9.0
M-04	PAVAYACU 67-D	2815.10	21.3	42.5	9.6
M-05	PAVAYACU 67-D	2819.00	64.2	40.3	9.8
M-06	PAVAYACU 79-B	2819.00	37.1	43.8	2.0
M-07	CORRIENTES 13-9C	2819.00	22.2	46.6	9.8
M-08	CORRIENTES 13-9C	2820.00	29.5	47.2	9.7
M-09	CORRIENTES 13-9C	2821.00	29.2	33.1	3.9
M-10	CORRIENTES 13-9C	2825.40	28.4	38.4	3.1
M-11	CORRIENTES 44-9C	2827.00	68.6	48.1	9.9
M-12	CORRIENTES 44-9C	2827.00	22.1	48.2	9.8
M-13	CORRIENTES 44-9C	2827.70	24.3	58.1	3.9
M-14	CORRIENTES 44-9C	2829.40	21.8	48.2	9.9
M-15	CORRIENTES 44-9C	2830.00	58.4	38.5	9.9
M-16	CORRIENTES 44-9C	2830.00	64.2	48.5	9.9
M-17	CORRIENTES 44-9C	2830.00	29.8	38.5	2.2
M-18	CORRIENTES 44-9C	2831.30	24.6	49.3	3.0
M-19	CORRIENTES 119-B	3008.00	28.3	33.3	3.8
M-20	CORRIENTES 119-B	3008.00	28.1	28.0	3.9
M-21	CORRIENTES 119-B	3008.00	21.0	48.0	3.0
M-22	CORRIENTES 119-B	3007.20	29.0	38.0	3.0
M-23	YANAYACU 27-B	3449.00	68.3	44.5	2.4
M-24	YANAYACU 27-B	3449.10	68.9	21.1	9.7
M-25	YANAYACU 27-B	3449.00	68.4	42.9	3.0
M-26	YANAYACU 27-B	3449.00	68.9	38.5	3.2
M-27	YANAYACU 27-B	3451.00	64.0	25.5	2.1
M-28	YANAYACU 27-B	3454.00	68.8	43.7	3.4
M-29	YANAYACU 27-B	3459.00	68.7	44.2	2.6
M-30	YANAYACU 27-B	3459.10	69.2	44.0	2.9

**LEYENDA:**

E. G. : CONTACTOS GRANULARES  
 P. G. : CONTACTOS RECTOS  
 C. G. : CONTACTOS INCLINADOS

Tabla N° 05. Parámetros de empaque en el reservorio Pona. Yacimientos: Pavayacu, Corrientes y Yanayacu.

Para la interpretación de estos análisis se diseñaron los gráficos: N° 01, N° 01A, N° 02, N° 02A, N° 03, N° 03A, N° 04, N° 04A, N° 05, N° 05A, N° 06, N° 06A, N° 07 Y N° 07A; los cuales se agrupan por yacimientos y se discuten a continuación.

**YACIMIENTO PAVAYACU**

**CONTACTO GRANULAR:** En el gráfico N° 01 (Pozo 67-D) se aprecia el predominio casi homogéneo de los contactos rectos en todas las muestras, sobre los demás tipos de contacto. Los valores de contactos rectos tienen un máximo de 40.6% (M-02) y un mínimo de 38.2% (M-01).

Le siguen los contactos tangentes con valores de un máximo de 29.7% (M-01), y un mínimo de 24.6% (M-04), ligeramente inferior tenemos a los contactos flotantes con valores de un máximo de 26.5% (M-01) y un mínimo de 22.5% (M-02).

En cuanto a los contactos cóncavo-convexos y suturados existe cierta tendencia a incrementarse con la profundidad de enterramiento; obteniéndose valores de un máximo de 9.9% (M-03) y un mínimo de 4.1% (M-01) mientras que para los contactos suturados se tiene un máximo de 2.8% (M-03).

En el gráfico N° 02 (Pozo 79-D) el predominio corresponde a los contactos flotantes en la totalidad de las muestras, sobre los demás tipos de contactos. Estos valores tienen un máximo de 45.1% (M-05) y un mínimo de 35.2% (M-06).

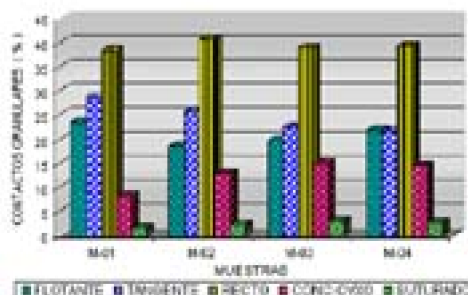
Le siguen los contactos tangentes con un máximo de 30.6% (M-06) y un mínimo de 27.5 % (M-05) seguidamente los contactos rectos en un máximo de 27.2% (M-06) y un mínimo de 24.2% (M-05).

Con una tendencia a incrementarse en profundidad tanto los contactos cóncavos-convexos como los suturados, con valores porcentuales de un máximo de 4.5% (M-06) y un mínimo de 2.7% (M-05) para los cóncavos-convexos y un máximo de 2.5% (M-06) para los suturados.

De la comparación y discusión entre estos gráficos se aprecia una diferencia en el predominio del tipo de contacto. En el pozo 67-D se tiene el contacto recto (40.6%) y en el pozo 79-D se tiene el contacto flotante (45.1%).

Esto se explica debido al mayor porcentaje de matriz y cemento en las muestras del pozo 79-D (15.1% y 30.7%) y a su menor profundidad de enterramiento (2809.50 m. - 2825.00 m.).

#### **TIPOS DE CONTACTOS GRANULARES EN EL RESERVORIO PONA**



*Gráfico N° 01. Yacimiento Pavayacu: Pozo 67-D.*

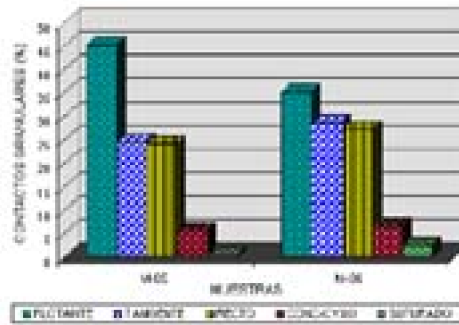


Gráfico N° 02. Yacimiento Pavayacu: Pozo 79-D.

**PARÁMETROS DE EMPAQUE EN EL RESERVORIO PONA**

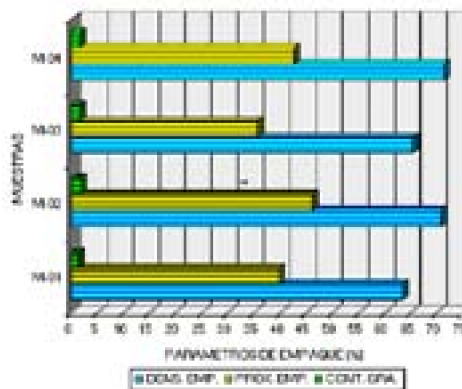


Gráfico N° 01A. Yacimiento Pavayacu: Pozo 67-D.

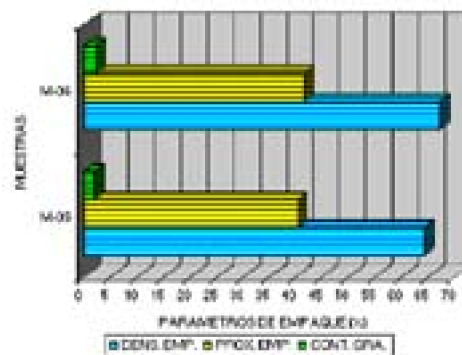


Gráfico N° 02A. Yacimiento Pavayacu: Pozo 79-D.

**ANÁLISIS DE EMPAQUE:** El gráfico N° 01A (Pozo 67-D) muestra la tendencia creciente de los parámetros de empaque: densidad de empaque (D.E.), proximidad de empaque (P.E.) y contacto granular (C.G.) con el incremento de la profundidad; destacando las muestras: M-02 (2888.40 m.) y M-04 (2893.15 m.) con valores máximo de: 71.3% (D.E.), 42.5% (P.E.) y 1.6% (C.G.), debido a los bajos contenidos de cemento calcítico (8.6%) y matriz arcillosa respectivamente, con respecto a las otras muestras.

El gráfico N° 02 A (Pozo 79-D) muestra un ligero incremento de los parámetros de empaque con el aumento de la profundidad. La muestra M-06 (2825.00 m.) presenta los valores más altos: 67.1% (D.E.), 41.5% (P.E.) y 2.0% (C.G.).

De la comparación entre estos dos gráficos se aprecia que las muestras de las areniscas Pona para el pozo 79-D son regularmente inmaduras con respecto al pozo 67-D, debido principalmente a su alto contenido de cemento calcítico (30.7%), matriz arcillosa (15.1%) y materia orgánica (10.8%). Lo que inhibiría parcialmente la deformación de los granos formando distribuciones irregulares en la sección delgada (grupos de granos apretados aislados por el cemento calcítico), que producirían un decremento de la porosidad inicial (primaria).

### YACIMIENTO CORRIENTES

**CONTACTO GRANULAR:** En el gráfico N° 03 (Pozo 12-XC) destacan los contactos rectos con un máximo de 45.2% (M-09), seguido de contacto tangentes en un máximo de 36.5 % (M-07).

Los contactos flotantes ocupan el tercer lugar con un máximo de 18.1% (M-07), le sigue los contactos cóncavos-convexos con un máximo de 12.7% (M-10) y los contactos suturados con un máximo de 2.2% (M-10). En estos dos últimos tipos de contacto se aprecia notoriamente el incremento de sus valores porcentuales con el incremento de profundidad.

En el gráfico N° 04 (pozo 44-XC) se aprecia una relación directa entre los tipos de contacto y el contenido de matriz, cemento y materia orgánica en las muestras del reservorio Pona.

Así tenemos un valor máximo de 43.5% (M-15) para los contactos flotantes, debido a que la muestra M-15 también presenta valores máximos de 18.5 % de matriz y 9.4% de cemento, independientemente de la profundidad de enterramiento (2882.00 m.). Para los contactos rectos, cóncavos-convexos y sinuosos se tienen valores máximos de 34.4% (M-18), 13.7% (M-18) y 3.0 (M-18) respectivamente, con valores de 4.9% de matriz y 9.5% de cemento.

En el gráfico N° 05 (Pozo 116-D), destacan claramente los contactos rectos con un valor máximo de 46.8% (M-21; 3046.50 m.) y un mínimo de 36.2% (M-20; 3035.50 m) que van decreciendo con la profundidad, seguido de contactos tangentes con un máximo de 39.6% (M-19). Los contactos cóncavos-convexos ocupan el tercer lugar con un máximo de 22.1% (M-22). La presencia de los contactos flotantes se restringe a un máximo de 18.8% (M-19), debido a que la matriz y cemento están a un máximo de 10.2% y 3.3%. Los contactos suturados tienden a aumentar en profundidad con un máximo de 4.2% (M-22; 3057.20 m.) y a la escasa presencia de matriz (3.4%) y cemento (1.6%).

### TIPOS DE CONTACTO GRANULARES EN EL RESERVORIO PONA

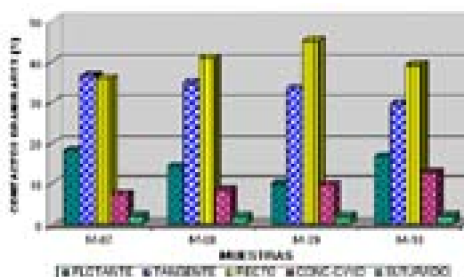


Gráfico N° 03. Yacimiento Corrientes: Pozo 12-XC

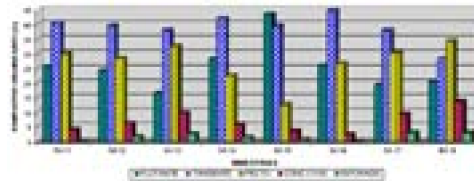


Gráfico N° 04. Yacimiento Corrientes: Pozo 116-D

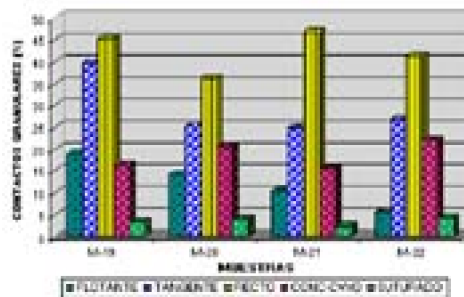


Gráfico N° 05. Yacimiento Corrientes: Pozo 44-XC

ANÁLISIS DE EMPAQUE: El gráfico N° 03A (Pozo 12-XC) muestra el incremento de los parámetros de empaque con la profundidad, teniendo como valores máximos: 79.2% (D.E.), 51.1% (P.E.) y 2.3 (C.G.) la muestra M-09, ligeramente mayor que la última muestra (M-10), que tiene mayor cantidad de finos (14.2%).

El gráfico N° 04A (Pozo 44-XC) muestra una tendencia irregular de los valores de los parámetros de empaque en las muestras de estas areniscas reservorio (M-11 a M-18; 2857.00 m. a 2901.30 m.) que están en función de la presencia de matriz, cemento y materia orgánica en c/u de ellas. Destacando la muestra M-18 con valores máximos de: 74.5% (D.E.), 49.9% (P.E.) y 3.0% (C.G.), debido a la poca presencia de matriz (4.9%), cemento (9.5%) y materia orgánica (3.9%) y a la mayor profundidad (2901.30 m.).

versamente se tiene valores mínimos en la muestra M-15 (2882.00 m.) de: 59.4% (D.E.), 38.5% (P.E.) y 0.9% (C.G.) con notable presencia de matriz (18.5%), cemento (9.4%) y regular materia orgánica (7.2%).

El gráfico N° 05A (Pozo 116-D) muestra valores porcentuales superiores de los parámetros de empaque con respecto al gráfico anterior (Pozo 44-XC). En general debido al incremento de la profundidad (3028.60 m. a 3057.20 m.) que aumenta la presión de sobrecarga, hallándose valores mayores de: 79.5% (D.E.), 56.8% (P.E.) y 3.6% (C.G.) en la muestra M-22, generados también por bajos valores de cemento (1.6% - 3.3%), matriz (3.3% - 10.2%) y materia orgánica (1.3% - 3.1%).

#### PARÁMETROS DE EMPAQUE EN EL RESERVORIO PONA

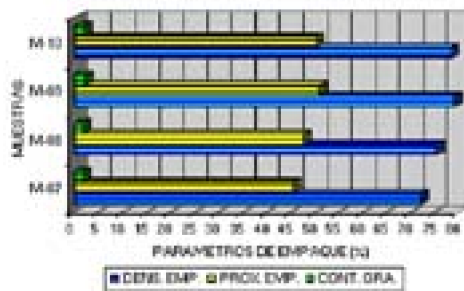


Gráfico N° 03A. Yacimiento de Corrientes: Pozo 12-XC

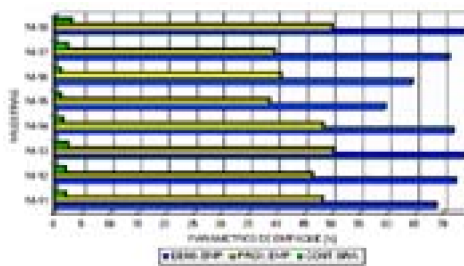


Gráfico N° 04A. Yacimiento de Corrientes: Pozo 116-D

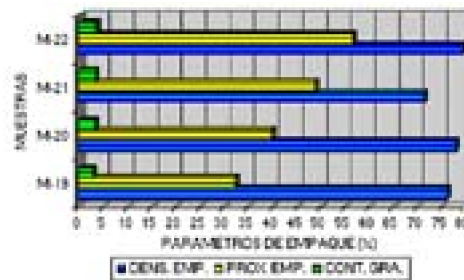


Gráfico N° 05A. Yacimiento de Corrientes: Pozo 44-XC

## YACIMIENTO YANAYACU

**CONTACTO GRANULAR:** En el gráfico N°06 (Pozo 32-X) se aprecia que la muestra M-24 (3415.00 m.) presenta un máximo de 63.5% para los contactos flotantes, aún mas profundo que la muestra M-23 (3410.50 m.), explicándose por la presencia notable de matriz (21.9%), ausencia de cemento y poca a regular materia orgánica (4.2%), inhibiendo considerablemente la presión de sobrecarga a la que están sometidos los granos detríticos, en esta muestra del Pona.

En el gráfico N°07 (Pozo 27-X), destacan claramente el predominio de los contactos rectos con un máximo de 57.5% (M-26), seguido de los contactos tangentes con un máximo de 25.2% (M-28). Los contactos flotantes ocupan el tercer lugar con un máximo de 24.2% e. la última muestra (M-30; 3532.34 m.), debido al incremento de la presencia de la matriz intersticial (11.9%) y materia orgánica (5.1%); con el consiguiente decrecimiento de los contactos cóncavos - convexos y suturados, que presentan sus valores máximos de 20.7% y 4.1% respectivamente en la muestra M-25 de menor profundidad (3516.00 m.) con respecto a las otras (3516.00 m. – 3532.33 m.).

## TIPOS DE CONTACTOS GRANULARES EN E RESERVORIO PONA.



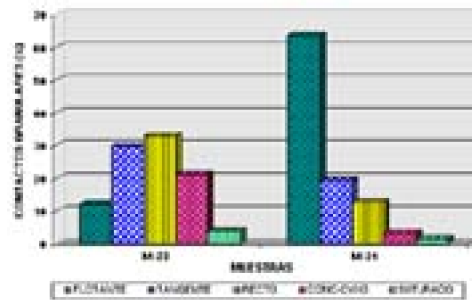


Gráfico N° 06. Yacimiento Yanayacu: Pozo 32-X

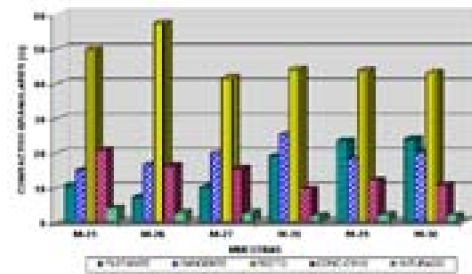


Gráfico N° 07. Yacimiento Yanayacu: Pozo 27-X

**ANÁLISIS DE EMPAQUE:** En el gráfico N° 06A (Pozo 32-XC), la muestra M-24 presenta los valores más bajos de todos los yacimientos (pozos) estudiados, según las muestras analizadas. Con valores de 60.5% (D.E.), 31.1% (P.E.) y 0.7% (C.G.), explicados a pesar de la profundidad de enterramiento (3515.00 m.) por la fuerte presencia de matriz (21.9%) y moderada materia orgánica (4.2%).

El gráfico N° 07A (Pozo 27-X) muestra valores dispersos ligeramente crecientes de los parámetros de empaque: 64.8% - 69.3% (D.E.), 35.5% - 44.5% (P.E.) y 2.1% - 2.6% (C.G.) en las muestras M-27 a M-30, con el aumento de la profundidad (3516.00 m. – 3532.33 m.). Sin embargo la presencia de matriz (3.1% - 11.9%) y la materia orgánica (2.8% – 7.8%) inhiben un crecimiento notorio de los parámetros de empaque evidenciando una vez mas la relación inversamente proporcional entre los parámetros de empaque y la presencia de matriz intersticial en las muestras analizadas correspondientes a las areniscas del reservorio Pona.

**PARÁMETROS DE EMPAQUE EN EL RESERVORIO PONA**

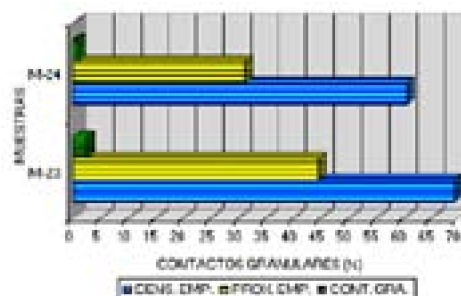


Gráfico N° 06A. Yacimiento Yanayacu: Pozo 32-XC

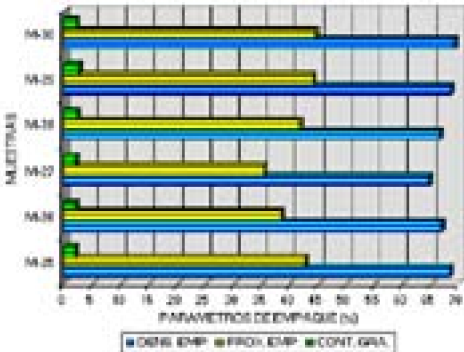


Gráfico N° 07A. Yacimiento Yanayacu: Pozo 32-XC

## VI. EVALUACIÓN DIAGENETICA

### 6.1. GENERALIDADES

El concepto de "Diagénesis" es amplio, se le define comúnmente como todo proceso que actúa o participa en la transformación de un sedimento en una roca sedimentaria, bajo condiciones de presión y temperaturas que difieren ligeramente de las existentes en la superficie terrestre.

Este término fue denominado y definido por vez primera en 1868 por Von Guembel, refiriéndose principalmente a los procesos de consolidación y cementación de sedimentos.

Posteriormente diversos autores como: Emery y Rittenberg (1952), ZB. Sujkowski (1958), Siever (1959), Shevtsov (1960), Pettijohn (1963), Muller (1967), Denuyer de Segunzac (1968), Dapples (1967), Fairbridge (1967), Smalley (1967), Strakhov (1963,1970), Hea (1971), Pettijohn, Porter y Siever (1973), Schmidt & Donald (1979), entre otros definen generalmente a la diagénesis en términos restrictivos, pero en forma similar al concepto mencionado líneas arriba, coincidiendo todos estos tratadistas en que cualquiera de los procesos diagenéticos actuantes en el sedimento no llegan a generar el estado más incipiente de metamorfismo en estos. Sin embargo la diagénesis, en ciertos casos es un proceso evolutivo al metamorfismo.

Los procesos diagenéticos actuantes, responsables de los cambios post-depositacionales ocurrientes en los sedimentos pueden ser: físicos, químicos, físico-químicos y bioquímicos; afectando la composición mineralógica y a los fluidos intersticiales contenidos en los sedimentos, que tienden a litificarse a presiones y temperaturas moderadas, alcanzando una estabilidad y equilibrio a través del tiempo, sin llegar al estado más incipiente del metamorfismo.

Los procesos diagenéticos característicos que actúan en la transformación del sedimento en roca se agrupan en dos grandes grupos y constan de: A) Primarios: Compactación, Solución por Presión, Cementación (Autigénesis) y B) Secundarios: Disolución, Descementación, Lixiviación y Fracturamiento. Conjuntamente con la acción de varios parámetros físico-químicos tales como: Eh, pH, termodinámicos (Pr. y T°) y soluciones iónicas, darán como resultado una roca consolidada cuyas características actuales van a depender de las interacciones de estos procesos, composición original, textura inicial, fluido intersticial (agua poral) y del ambiente sedimentario depositacional. Justamente debido a estas características iniciales sobre la diagenénesis ha impedido una generalización de los procesos diagenéticos en los sedimentos pues las características de la diagénesis es variable para diferentes litologías.

La diagénesis produce una disminución de los parámetros petrofísicos de una arenisca reservorio, mediante sus procesos diagenéticos actuantes: compactación, cementación y autigénesis. Las cuales van a reducir los espacios porales primarios y la permeabilidad de la roca reservorio.

Sin embargo puede ocurrir una preservación o aumento de los intersticios porales en la roca reservorio, mediante procesos diagenéticos secundarios tales como: disolución, lixiviación, descementación y fracturamiento que podrían generar porosidad secundaria.

## **6.2. MODELOS DIAGENETICOS**

Se definen como aquellos que permiten explicar los diversos estadios de diagénesis que afectan a un sedimento para litificarse. Existen diversas nomenclaturas con variaciones en los límites de amplitud, según diferentes escuelas y autores.

Trataremos algunos de estos modelos diagenéticos a continuación:

### **A. MODELO DE DAPPLES (1967):**

Este autor distingue tres etapas diagenéticas que constan brevemente de:

I. Redoxomórfica. Etapa inicial de la diagénesis, refiriéndose a las reorganizaciones y sustituciones químicas principalmente de oxidación – reducción, jugando la materia orgánica un papel importante, junto con procesos mecánicos de compactación y eliminación de agua.

II. Locomórfica. Etapa de continuación de la diagénesis, en la cual se produce la precipitación de minerales en los poros (cementación) y crecimientos secundarios cristalinos (sobrecrecimientos), y posible ocurrencia de otros procesos diagenéticos.

III. Filomórfica. Etapa más avanzada en la cual se enlaza la diagénesis con el metamorfismo, en la cual ya no hay ningún tipo de porosidad, desarrollándose, si hay matriz una esquistosidad incipiente.

**B. MODELO DE FAIRBRIDGE (1967):**

Este autor distingue tres etapas diagenéticas que constan brevemente de:

I. Syndiagénesis. Viene a ser la diagénesis inicial, comenzando en el momento de la depositación, caracterizándose por la gran cantidad de agua atrapada en los intersticios porales y su lenta expulsión. Este término es equivalente a la diagénesis en su aspecto más restrictivo, tal como lo definen la mayoría de los autores soviéticos.

II. Anadiagénesis. Viene a ser la etapa de compactación con expulsión de agua intersticial, que pueden originar mineralizaciones y una fase madura de diagénesis, caracterizándose por un incremento de alcalinidad en las aguas formacionales, cementación y autigénesis. A mayor profundidad en esta etapa generalmente se reduce el volumen del sedimento con la consiguiente eliminación progresiva de los espacios porales y conductos permeables.

III. Epiadiagénesis. Viene a ser la etapa diagenética de emersión, con la consiguiente erosión que permite la percolación de las aguas superficiales y meteóricas en zonas profundas, caracterizada por la presencia de condiciones oxidantes.

**C. MODELO DE SCHMIDT V. & MC DONALD (1979):**

Estos autores subdividen la diagénesis en tres etapas, que constan brevemente de:

I. Eodiagénesis. Se constituye como la diagénesis inicial que puede ocurrir en un ambiente marino o continental. La identificación del ambiente depende de la composición iónica del agua intersticial que es predominantemente alcalino para ambientes marinos (White,1965) y comúnmente ácido o anóxico para ambientes continentales (Tardy,1971; Gibbs,1977).

En ambos casos el agua intersticial es controlada por ambiente de superficie antes que el "soterramiento efectivo". Este término se denomina así cuando se produce el enterramiento de las areniscas bajo una cobertura que actúa de sello o aislante, la cual no permite el paso o influencia de agentes de superficie en la química del agua poral.

II. Mesodiagénesis. Posterior a la eodiagénesis se produce esta etapa, la cual se caracteriza por estar controlada por el "soterramiento efectivo". Es aquí donde se generan los principales procesos diagenéticos que van a controlar la porosidad y permeabilidad de una arenisca, presentando los siguientes estados en términos de estos parámetros petrofísicos:

- Inmaduro: Estado en el cual se produce un decremento de porosidad y permeabilidad primarias debido al efecto de la compactación físico-mecánica en el sedimento arenoso.
- Semimadura: Estado que se produce al incrementarse el enterramiento (presión de sobrecarga) generándose una progresiva disminución de la porosidad primaria hasta llegar a ser un mínimo debido fundamentalmente a los efectos físico-químicos de la

presión de sobrecarga (cementación, autigénesis y sobrecrecimiento).

- **Maduro:** En este estado se presentan dos niveles: a) Ocurrencia de un máximo desarrollo de porosidad secundaria, fundamentalmente debido a un proceso de descementación (cambio iónico del fluido poral), y b) Destrucción de la porosidad secundaria, fundamentalmente debido a la compactación físico-química (cementación y sobrecrecimiento).
- **Supermaduro:** Este estado se caracteriza por encontrarse en un nivel irreducible cualquier tipo de porosidad (primaria o secundaria). El advenimiento hacia la metamorfosis marca el fin de este estado y de la Mesodiagénesis.

Con respecto a los estados mesodiagenéticos se ha verificado una congruente relación entre la variación de la vitrinita y estos estados, por lo que los valores de reflectancia pueden usarse como una escala de maduración termal en las areniscas.

III. Telodiagénesis. Posterior a la Mesodiagénesis, ocurre esta etapa en la cual la arenisca va a ser controlada nuevamente por agentes de ambientes superficiales, debido fundamentalmente a una emersión o un proceso tectónico, caracterizándose por la presencia de la oxidación.

Se aprecia que existe una similitud entre las etapas de los modelos diagenéticos de: SCHMIDT V. & MC DONALD (1979) y FAIRBRIDGE (1967), mientras que el modelo de DAPPLES (1967) adolece de la etapa diagenética de emersión (Epidiagénesis o Telodiagénesis).

Después de observar las características petrográficas y diagenéticas de las 30 láminas petrográficas de la roca reservorio Pona podemos concluir que estas areniscas reservorio se encuentran en las siguientes etapas diagenéticas:

A) Modelo de DAPPLES (1967): Las areniscas del reservorio Pona se encontrarían en un estadio Locomórfico, en la cual después de los procesos primarios diagenéticos como: sobrecrecimiento, autigénesis y cementación, se tiene también procesos diagenéticos secundarios como: descementación, disolución y fracturamiento.

B) Modelo de FAIRBRIDGE (1967): Las areniscas del reservorio Pona se encontrarían en un estadio intermedio de Anadiagénesis, también con ocurrencia de procesos diagenéticos primarios y secundarios.

C) Modelo de SCHMIDT V. & MC DONALD (1979): Las areniscas del reservorio Pona se encontrarían en un estadio maduro de Mesodiagénesis, caracterizada fundamentalmente por un proceso de descementación del cemento calcáreo.

### **6.3. PROCESOS DIAGENETICOS**

Se definen como todos aquellos procesos (físicos, químicos, físico-químico y bioquímicos) producidos en las diferentes etapas o fases diagenéticas que interrelacionado principalmente con los parámetros físico-químicos (pH, Eh, etc.) y

termodinámicos (Presión y Temperatura) serán los responsables de la consolidación del sedimento en roca sedimentaria. Es mas son aquellos que van a controlar las propiedades petrofísicas ( $\phi$  y  $k$ ) de las areniscas reservorio, ya sea disminuyendo, preservando o incrementándola según el tipo de procesos diagenéticos actuantes en el reservorio.

Siguiendo la clasificación de los procesos diagenéticos en: Primarios (Compactación, Presión-solución, Autigénesis y Cementación) y Secundarios (Disolución, Descementación, Fracturamiento y Lixiviación) se presenta el Cuadro N° 05 y se describen a continuación estos procesos diagenéticos, de acuerdo a la observación microscópica de las láminas petrográficas de la roca reservorio Pona.

<b>PROCESOS DIAGENETICOS</b>	
<b>PROCESOS PRIMARIOS</b>	<b>PROCESOS SECUNDARIOS</b>
A.-Proceso Físico-Mecánico:	A.-Proceso Físico-Químico:
COMPACTACION	DISOLUCION
B.-Proceso Físico-Químico	DESCEMENTACION
PRESION-SOLUCION	FRACTURAMIENTO
C.-Proceso Químico	LIXIVIACION
AUTIGENESIS	
CEMENTACION	

*Cuadro N° 05. Procesos Diageneticos*

### 6.3.1. COMPACTACIÓN

Generalmente es definido como el proceso físico-mecánico que reduce el volumen de un sedimento debido a la presión de sobrecarga ha medida que se incrementa su profundidad de enterramiento. Por lo cual las partículas sólidas del sedimento son cohesionadas entre sí, como consecuencia de la presión ejercida por las capas suprayacentes, incrementando su densidad y adherencia (empaquetamiento), que van a ocasionar a la postre una reducción gradual de los espacios libres (porosidad) y la expulsión de fluidos intersticiales del sedimento.

La compactación es un proceso diagenético muy importante que aparece simultánea o ligeramente posterior a la sedimentación. La intensidad depende básicamente de: la clasificación granulométrica, composición mineralógica, contenido de fluido intersticial y porosidad inicial.

La clasificación granulométrica es en tanto mas importante cuanto más finos son los sedimentos (arcillas), siendo la compactación inicialmente más débil en arenas mal clasificadas pero cuya disminución son también más lentas que para arenas bien clasificadas. Los granos mas gruesos una vez reacomodados en contactos tangenciales

o rectos entre ellos, van a soportar la mayor parte de la sobrecarga, protegiendo a los granos finos de toda contracción suplementaria, al menos hasta cuando la contracción provoque su fracturamiento.

La composición mineralógica es también importante; pues el comportamiento de un mineral en un ambiente de compactación depende de su naturaleza y es generalmente diferente al de cualquier otro mineral sometido a las mismas condiciones. Es así que la porosidad de una arena limpia decrece más lentamente que una arena arcillosa donde los componentes micáceos o arcillosos se deforman y fracturan disminuyendo el intersticio poroso más fácilmente. La presencia de minerales feldespáticos así como anfíboles y piroxenos favorece el desarrollo de fenómenos diagenéticos debidos a su inestabilidad química, que van a producirse durante la compactación misma.

El contenido de fluido intersticial y la porosidad inicial se refieren principalmente a sedimentos arcillosos.

La disminución de porosidad debido a la compactación es del orden del 15 al 25%, que para porosidades iniciales medias entre 35 y 45% representa valores bajos, aunque la disminución de la porosidad es fuerte si hay presencia de matriz arcillosa, mala clasificación y granos elásticos o deformables, como las micas.

El principal efecto diagenético que puede generar la compactación en un estado mas avanzado con el aumento de sobrecarga y/o profundidad de enterramiento es el proceso de "Presión-solución" (Cap.6.3.2.) desarrollando un proceso de sobrecrecimiento principalmente en los granos de cuarzo.

La compactación en el Lote 8 es de gran incidencia, pues los sedimentos cretácicos se encuentran entre los 2000 m. y 3500 m. de profundidad, bajo una gruesa cobertura de rocas terciarias y cuaternarias que indudablemente producirán una sobrecarga, manifestándose características identificativas de este mecanismo.

Sin embargo basándonos en el análisis del empaque y contactos de granos (Cap.5.3.6) en las muestras del reservorio Pona, el efecto de compactación ha sido de un aumento gradualmente moderado conforme va en aumento la profundidad de soterramiento (NNW-SSE), según el alineamiento estructural de los yacimientos estudiados (Pavayacu, Corrientes y Yanayacu).

Este efecto moderado de compactación se produce principalmente por el gran porcentaje de minerales arcillosos (matriz) presentes en la constitución del reservorio, que será una de las características de este reservorio. Estos minerales arcillosos sean alotígenos o autógenos van a inhibir y proteger los granos detríticos de la compactación.

También el efecto de la compactación puede ser inhibido o soportada por los fluidos intersticiales, en una secuencia o capa sobrepresurizada.

Es así que en los 06 láminas de sección delgada (M-01 a M-06) correspondientes al yacimiento Pavayacu (Pozos: 67-D y 79-D) se observa una menor compactación que en los otros yacimientos en estudio, debido a la alta presencia porcentual de cemento y matriz arcillo-calcáreo (M-01, M-03, M-04 y M-05), matriz arcillosa (M-02) y materia orgánica (M-01 y M-06), como a sus menores profundidades de soterramiento (2809.50 – 2893.15). Evidenciado por valores máximos de 9.9% (M-03) y 2.8% (M-03) para los



contactos cóncavo-convexos y suturados (Graf. N°01 y Graf. N°02).

En los 16 láminas de sección delgada (M-07 a M-22) correspondientes al yacimiento Corrientes (Pozos: 12-XC, 44-XC y 116-D) se observa el incremento de una gradual compactación conforme aumenta la profundidad de enterramiento del reservorio (2856.50m. – 3057.20m.). Evidenciado por el predominio de los contactos rectos (22.4% - 46.8%), excepto 07 muestras (M-11 a M-17) que presentan regulares a altas concentraciones de materia orgánica y matriz arcillosa (sobre todo la muestra M-15), lo cual inhibe el efecto de compactación (Graf. N°03, Graf. N°04 y Graf. N°05).

Otra evidencia o signo de compactación en este yacimiento del reservorio Pona es el flexionamiento de la muscovita (M-10 y M-21) y la presencia de películas de materia orgánica en forma de estilolitas (M-14).

En las 07 últimas secciones (M-23 a M-30) correspondientes al yacimiento Yanayacu (Pozos: 32-X y 27-X) se observa un predominio de los contactos rectos (M-25 a M-30), a excepción de un nivel altamente glauconítico y arcilloso (M-24); mostrando también sobrecrecimiento alrededor de los cuarzos detríticos (cuarzo secundario: M-25), continuando el aumento gradual de la compactación al aumentar el soterramiento (23410.50m. – 3532.33m.), aún presentando regulares a altos valores de componentes arcillosos (3.1% a 11.9%) y materia orgánica (2.7% a 5.1%). Evidenciado por valores máximos de 21.4% y 4.1% para los contactos cóncavo-convexos y suturados (Graf. N°06 y Graf. N°07). Aunque la presencia de contactos cóncavo-convexos y suturados difiere ligeramente que las detectadas en el yacimiento Corrientes, posiblemente debido a los componentes arcillosos que presentan. Hay que destacar que los granos policristalinos ocurren ligeramente en mayor porcentaje que en los otros yacimientos (M-26 y M-27) que podrían enmascarar la presencia de los contactos suturados, razón que escapa a la distinción en el microscopio petrográfico, un análisis meticuloso para estos casos es por catoluminiscencia.

### 6.3.2. PRESIÓN SOLUCIÓN

Este proceso diagenético se produce principalmente por el efecto de un estadio notable de compactación, es decir al progresar el enterramiento se produce un aumento de presión de sobrecarga y del grado geotérmico, la cual genera disolución de sílice en los contactos intergranulares (Fig. N°12) que son los puntos de aplicación de la compactación. Seguidamente, cuando la sílice disuelta sobresatura las aguas intersticiales, precipita en las zonas de menor presión (espacio poral) desarrollando un proceso de sobrecrecimiento (cuarzo secundario) que va desde excrecencias de continuidad óptica hasta la cementación sílicea a rellenar totalmente los espacios intersticiales (Fig. N°13).

Este proceso diagenético concuerda con el "principio de Riecke", la cual consiste en que la solubilidad de los minerales en el agua se incrementa con la presión.

En las 06 muestras de sección delgada del reservorio Pona correspondiente al yacimiento Pavayacu no se observan sobrecrecimiento de cuarzo, posiblemente debido a la fuerte presencia de matriz calcárea parcialmente cementada. Excepto unas trazas de

cementación sílicea en la muestra M-04, que podría resultar del aporte de sílice de restos orgánicos síliceos (espiculas y caparazones) característicos de este yacimiento.

En las 16 muestras de sección delgada del reservorio Pona correspondientes al yacimiento Corrientes tampoco se observan signos evidentes de Presión-Solución, solo trazas de cementación sílicea (M-09, M-18 y M-20). La primera (M-09) que muestra trazas de cementación sílicea podría generarse por este efecto diagenético ya que se registran altos valores de contactos rectos (45.2%) aún existiendo fuerte cantidad de arcillas (9.5%). Pero también podría generarse cementación sílicea por movimientos convectivos de la sílice en solución (Fig. N°14) que desde las partes profundas ascienden a niveles someros del reservorio durante la diagénesis (Según Walther y Hegelson, 1977). Las otras muestras (M-18 y M-20; Foto N°10 y Foto N°11) que también muestra ligeras evidencias de cementación sílicea, parece que es debido netamente a compactación, demostrados por el flexionamiento de micas (muscovita), fracturamiento de glauconitas, y a su profundidad de enterramiento (2901.30 m. Y 3035.50 m.).

En las últimas 08 muestras de sección delgada del reservorio Pona en el yacimiento Yanayacu se observan parcialmente evidencias de sobrecrecimiento en granos detríticos cuarzosos en las muestras: M-24 y M-25 (Foto N°15) a lo largo de contornos granulares en continuidad óptica así como trazas de cementación sílicea que pueden deberse al efecto de compactación (profundidad mayores de 3500 m.) y/o exsoluciones de iones de potasio (K) de arcillas micáceas e illíticas que causan un pH alcálico, que a elevadas temperaturas, pueden disolver sílice y posteriormente precipitarse como sílice amorfa (Según Perry y Hower, 1970). De acuerdo a Okamoto (1957) el incremento de solubilidad de la sílice se inicia a 71° C para un pH 9, y a 200° C para un pH 8. Los parámetros necesarios para que se produzca esta reacción son: elevada temperatura, baja movilidad del agua (para que no migre rápidamente las exsoluciones de K) y el tiempo.

Por todas estas consideraciones la Presión-Solución es un eficiente reductor de la porosidad en las areniscas principalmente por: 1) reducir la distancia entre las partículas componentes y 2) es responsable en su mayor parte de la precipitación de cemento (síliceo).

Sin embargo este efecto diagenético en los 30 muestras de sección delgada analizadas no afectan en mayor grado la porosidad del reservorio, ya que fueron observadas en trazas a ligeras evidencias (excrecencias y cemento síliceo) con valores  $\leq$  1%, en solo algunas de estas secciones.

### **6.3.3. AUTIGENESIS Y CEMENTACION**

---

Estos procesos diagenéticos son comunes y fácilmente reconocibles, involucrando procesos químicos que se realizan principalmente entre los componentes del sedimento (minerales inestables) y las soluciones iónicas presentes en las aguas porales. Por lo cual estos componentes inestables son alterados y posteriormente disueltos para dar lugar a la formación de nuevas especies estables.

Indudablemente además de los procesos químicos interactuantes: los parámetros físico-químicos (Eh, pH, etc) y los parámetros termodinámicos (Pr. y T°), justamente de

las variaciones de estos explican las diferentes asociaciones mineralógicas autigénicas y cementantes en los sedimentos.

La Autigénesis es la neoformación de un mineral detrítico o la formación de un nuevo mineral en el medio ambiente diagenético de un sedimento. Presentándose principalmente en las secuencias arenosas bajo dos formas: Sobrecrecimiento y Cemento (Fig. N°13).

El Sobrecrecimiento ocurre sobre minerales originales, que según sea la adición (adsorción) de iones nuevos en las aguas intersticiales combinadas con el efecto de Presión-Solución pueden originar recristalizaciones, mostrando alargamientos con continuidad óptica, a partir de un núcleo (mineral original), que pueden llegar a mostrarse bajo formas euhedrales (Fig. N°12).

El principal mineral que puede mostrar estas características es el cuarzo en las areniscas, como es el caso del reservorio Pona pero en ligera presencia (< 2%) que fue reconocido microscópicamente por superficies o excrecencias periféricas limpias delimitadas por tenues venas de un núcleo detrítico con orlas de impurezas (vacuolas, inclusiones, turbidez, etc), tal como lo evidencia la muestra M-25 (Foto N°15). Ocasionalmente puede ocurrir sobrecrecimientos de otros minerales menos estables como: la microlitización y/o albitización de feldespatos, etc. Fenómenos que no fueron observados en las muestras de sección delgada.

También debemos destacar la presencia del chert como un agregado de cuarzo microcristalino que puede ser originado diagenéticamente como un mineral autígeno o a veces detrítico procedente de áreas madre sedimentaria (rocas metamórficas). Su reconocimiento microscópico se visualiza principalmente por agregarse en cristales interpenetrados de hábito subhedrales equidimensionales (M-06; Foto N°04)), presentándose en ligeras cantidades (1%-2%) en solo esta muestra y las muestras: M-21 y M-30. En el resto de muestras no se observa presencia del chert; tampoco se ha observado la presencia de su dimorfo: la calcedonia en la totalidad de estas muestras, que tienen la característica de presentarse como fibras elongadas. Folk (1952) las estudio ampliamente, postulando que la formación de estos dimorfos depende del espaciamiento de los centros de cristalización: si es estrecho y al azar se formaría el chert, mientras que el espaciamiento amplio originaría precipitación directa sobre superficies vacías formando la calcedonia.

Según el estudio de estas muestras de sección delgada parece que no existe relación alguna entre los sobrecrecimientos de sílice (cuarzo secundario) y los cherts, pues se presentan a distintos niveles (profundidades).

La Cementación es un proceso diagenético común que resulta de la precipitación de material nuevo en los intersticios de un sedimento, produciendo la consolidación por la unión de los granos originales entre sí. Entre las principales sustancias aglutinantes en las areniscas tenemos las calcáreas (calcita), síliceas (cuarzo secundario) y ferruginosas. Que pueden ocurrir contemporáneamente con la sedimentación, o bien, el material de cementación puede ser introducido en una época posterior.

Según el estudio de las muestras de sección delgada correspondientes al reservorio Pona se observó la presencia de 02 minerales cementantes: cuarzo secundario y calcita.

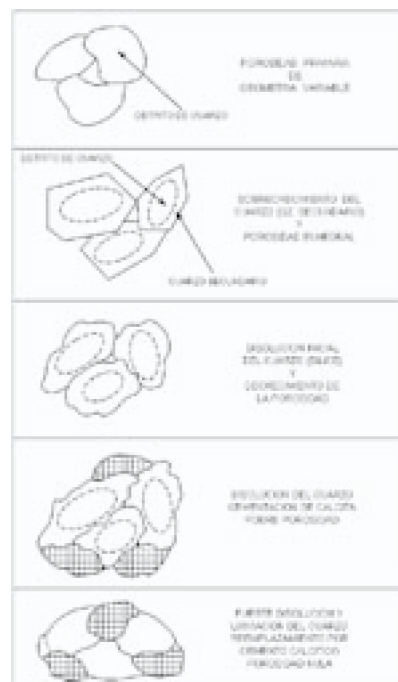


Figura N° 12. Evolución Diagenética de la Cementación de Arenisca.

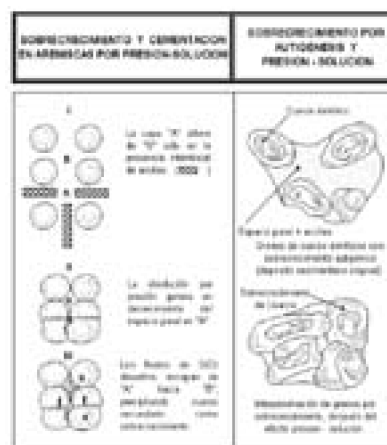


Figura N° 13. Principales procesos Diagenéticos en Arenisca.

La cementación sílicea ocurre someramente en 05 muestras pertenecientes al yacimiento Corrientes (M-09, M-18 y M-21) y al yacimiento Yanayacu (M-24 y M-25).

Explicamos anteriormente que podría haberse generado cementación sílicea (M-09 y M-24) por presión-solución y/o a partir de movimientos convectivos ascendentes (precipitación) y descendentes (disolución) en función de la temperatura y reflectancia de la vitrinita (Según Walther y Hegelson, 1977).

Mientras que las 03 últimas muestras (M-18, M-21 y M-25) parece deberse netamente al incremento de la compactación debido a su profundidad de enterramiento (cerca de más de 3,000 m.).

Existen además otras hipótesis de generación de autigénesis sílicea como por ejemplo: la sílice puede sobresaturar el agua poral, excediendo la solubilidad del cuarzo,

precipitando en forma lenta y continua debido al paso de aguas subterráneas o de río ricos en sílice que provendrían de la alteración de los silicatos (feldespatos, anfíboles, piroxenos, etc) y de minerales arcillosos (Según Siever, 1971).

Otras hipótesis también fueron mencionadas anteriormente como: Evolución Diagenética en función de las corrientes convectivas (Fig. N° 14, Según Walther y Hegelson, 1977) y Diagénesis por exsoluciones iónicas de potasio (Según Perry y Hower, 1970).

Entre las posibles fuentes de sílice tenemos: a) disolución de restos orgánicos síliceos (espículas y caparazones), b) meteorización y diagénesis de feldespatos y minerales arcillosos (feldespatos-kaolinita-clorita) y c) la compactación (presión-solución) en las areniscas o en la compactación en las arcillas adyacentes a estas.

Según estudios recientes, se sabe que el cuarzo tiene una solubilidad muy cercana a la del contenido medio en sílice de los océanos mundiales.

En otros términos, hace falta poco para que el agua esté sobresaturada con relación al cuarzo.

De ahí que existan aportes ricos en sílice en la zona subterránea agua dulce-agua salada, en un medio normal o poco confinado, para que precipite cuarzo autógeno.

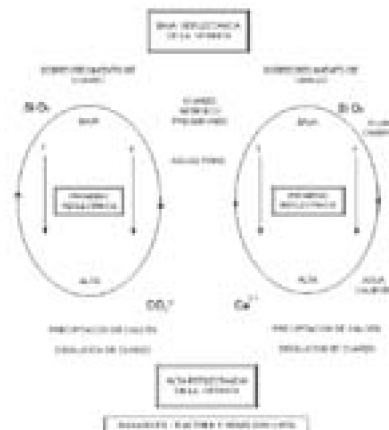


Figura N° 14. Evolución Diagenética de un reservorio en función de las corrientes convectivas.

La cementación calcítica ocurre parcialmente en 28 muestras, correspondientes a los tres yacimientos en estudio (Pavayacu, Corrientes y Yanayacu), manifestándose principalmente en el yacimiento Pavayacu en expectantes cantidades que varían entre 8.6% (M-02) y 30.7% (M-05), excepto en la muestra M-06 donde se manifiesta como una matriz arcillo-calcárea (15.1%) sin llegar a cementarse o cristalizarse. Mientras que en el yacimiento Corrientes solo se presentan menores cantidades que varían entre 0.6% (M-07) y 9.5% (M-18). Finalmente en el yacimiento Yanayacu ocurre mínimas cantidades que oscilan entre trazas (M-30) y 3.5% (M-23).

El cemento calcáreo resulta de la recrystalización de la materia orgánica, como organismos fósiles (M-01; Foto N°01) o del agregado y/o mezcla de precipitados químicos de carbonatos de grano fino (M-05; Foto N° 03).

También por las disoluciones de feldespatos, micas, etc. y por disoluciones portadoras de carbonatos que proceden de sedimentos calcáreos.

Este cemento calcítico ocurre principalmente bajo dos hábitos: esparítico y micrítico (Cap. 5.3.3) en el yacimiento Pavayacu; ambos de carácter cristalino, ocasionalmente poikilotópico, se presentan rellenando los espacios intersticiales y como un mineral de reemplazo de granos primarios sean orgánicos (Foto N°01) o detrítico (Fotos N°02 y N°03).

Mientras que en los otros yacimientos (Corrientes y Yanayacu) ocurren principalmente bajo hábitos: microesparíticos y ligeras micritas (Foto N°09) con similares características al yacimiento anterior. Ocurriendo además conjuntamente con arcillas y fuerte bioturbación.

De la observación microscópica y concordando con Woldschmidt y Füchtbauer (1974) en base al estudio de los materiales cementantes, establecen un orden de precipitación o Paragénesis de estos cementantes, donde el primer cementante es el cuarzo secundario y en segundo orden sería la calcita. Que sería el último y principal cementante en la roca reservorio Pona. Teniendo como principales factores el incremento de pH (alcalino), salinidad y la temperatura.

Otro mineral autógeno, aparte de los descritos anteriormente (cuarzo secundario y calcita), se tiene a la glauconita, presente en la mayoría de las muestras de sección delgada en cantidades que varían entre 0.9% y 28.4% (M-11 y M-24), su reconocimiento y diferenciación de la glauconita detrítica (aloquímica) se basa en análisis de textura (Cap. 5.3.3.). Caracterizadas principalmente por su ocurrencia como granos retrabajados localmente y como un reemplazo de material peletoidal posible (M-30; Foto N° 18). También se hace mención de la pirita como un posible mineral diagenético, asociado a materia orgánica, con valores < 1% en dos muestras (M-26; Foto N°16) correspondientes al yacimiento Yanayacu.

De las consideraciones anteriores se aprecia que la autigénesis y la cementación silíceas no tendrían un rol importante en estas secciones, ya que la glauconita presenta sus valores altos en muestras de mayor contenido de matriz arcillosa (28.4; M-24), que de por sí ya tienen bajos valores de los parámetros petrofísicos, mientras que la cementación silícea ocurre en ligeras cantidades (< 2%), por lo que sus influencias sobre la porosidad y permeabilidad del reservorio Pona serían mínimas, además se sabe que el cuarzo secundario es más resistente a los efectos de la compactación y la presión-solución que se incrementan con la profundidad, por lo que se conservaría una porosidad media, a no ser que se produzca una sobresaturación.

En cambio la cementación calcárea (calcita) sí es significativa, ocurriendo en expectantes cantidades (8.6% - 30.7%) que van a caracterizar a las muestras de la roca reservorio Pona en el yacimiento Pavayacu, coexistiendo con ciertas arcillas e incluso formando matriz calcárea (15.1%; M-06) por la cual se podría afirmar que este cemento, producto de una diagenesis tardía ha reducido notoriamente los parámetros petrofísicos del reservorio en este yacimiento, mientras que en los otros yacimientos por la presencia de este cemento (Tz - 9.5%) se considera un ligero decremento de estos parámetros, mas aún existen evidencias de descementación que han generado porosidad secundaria,

específicamente en el yacimiento Corrientes.

#### 6.3.4. DESCEMENTACIÓN, DISOLUCIÓN Y FRACTURAMIENTO

Estos procesos diagenéticos son comúnmente conocidos como secundarios, pues se presentan tardíamente en la diagénesis de una arenisca y son los responsables directos de la presencia notable o mínima de porosidad secundaria según su efecto diagenético.

La Descementación y Disolución se interpreta como fenómenos diagenéticos inversos al sobrecrecimiento, la precipitación y cementación, generados principalmente por cambios en la composición iónica de las aguas porales de supersaturadas a insaturadas, afectando tanto a los componentes ortoquímicos (cementantes) como a los componentes alotígenos (detríticos).

Debido a la notable presencia de porosidad secundaria y a evidencias texturales en las láminas de sección delgada estudiadas se infiere la ocurrencia de estos fenómenos diagenéticos en los yacimientos Corrientes y Yanayacu.

La descementación se produce principalmente sobre el cemento calcáreo y/o otros componentes solubles (granos detríticos, minerales autógenos y cementantes), como la muestra M-22 (Foto N°13).

La disolución se produce principalmente sobre minerales detríticos inestables y/o minerales cementante. Los feldespatos afectados comúnmente por la disolución son: sanidina, ortosa y plagioclasa. Morgan y Gordon (1970) han discutido la importancia de la disolución del feldespato en las areniscas. Según observaciones en las muestras de sección delgada, se tienen evidencias de este fenómeno en ortosas y plagioclasas (Fotos: N°07 y N°11).

También se evidencian corrosión incipiente y/o parcial sobre algunos granos de cuarzo, mostrándonos su periferia con huellas de corrosión debido al paso de soluciones alcalinas, manifestándose en forma de cavidades o entrantes corrosivas (M-12; Foto N°08) principalmente en el yacimiento Corrientes.

El Fracturamiento es un proceso diagenético secundario de menor grado, relacionado generalmente a esfuerzos tectónicos: compresión y/o tensionales, conocidos como procesos de compactación secundaria que afectaran a las areniscas reservorios. Se evidencian estos microfracturamientos en los granos detríticos de cuarzo en el yacimiento Corrientes (M-12; Foto N°08 y M-17), desarrollándose una pobre porosidad secundaria debido a este proceso diagenético.

De acuerdo a la estimación de tipos de porosidad (Según Schmidt & Mc Donald, 1979) y a evidencias de estos procesos diagenéticos secundarios, principalmente de la descementación y disolución ocurrentes en las muestras de sección delgada, en mayor grado en las correspondientes al yacimiento Corrientes y en menor grado en el yacimiento Yanayacu (trazas) se aprecia que estos procesos tuvieron gran incidencia en la preservación y/o aumento de la porosidad (secundaria) por lo menos en estos yacimientos.

## 6.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se intenta dar una explicación satisfactoria de los procesos diagenéticos ocurrientes en esta roca reservorio, sobre la base del estudio microscópico de las secciones delgadas evaluadas, que se presenta a continuación:

### YACIMIENTO PAVAYACU

Se observa que las muestras correspondientes a este yacimiento (M-01 a M-06) presenta los valores más bajos de compactación (Cap. 6.3.1) debido principalmente al alto contenido de cemento calcáreo (30.7%; M-05), materia orgánica (10.8%; M-06) y matriz arcillo-calcárea (15.1%; M-06), conjuntamente con la menor profundidad de enterramiento (2809.50m. a 2893.15m) con respecto a las otras muestras. También evidenciado por el predominio de los contactos: flotantes (45.1%; M-05), tangentes (28.7%; M-01) y rectos (40.6%; M-02) así como valores menores de parámetros de empaque (Cap. 5.3.6) hallados en estas muestras.

Con respecto al proceso de: "Presión-solución" (Cap. 6.3.2.) es de esperar una mínima a menor presencia de sobrecrecimiento de cuarzo u otro mineral, por la baja presencia de la compactación, sin embargo se encontraron trazas de cementación silícea (M-04) que sería aporte de sílice de restos orgánicos como: espículas y caparzones, más no de este proceso diagenético.

En cuanto al proceso de cementación (Cap. 6.3.3.) principalmente cemento calcáreo, se presenta en expectantes cantidades (8.6%; M-02 y 30.7%; M-05) que caracteriza este yacimiento, incluso formando matriz calcárea (15.1%; M-06), ambos productos de una diagenesis tardía (paragénesis) que va producir un decremento notorio de los parámetros petrofísicos en las areniscas del Reservorio Pona en este yacimiento.

En cambio los procesos diagenéticos secundarios van a generar principalmente una porosidad secundaria notable o mínima según sus efectos, en el caso de las muestras del yacimiento Pavayacu (M-01 a M-06) no se encontró evidencias de este tipo de porosidad, excepto la muestra M-02, donde se aprecia un mínimo proceso de descementación calcárea y disolución del cuarzo (ambos < 1%), razón por la cual estos procesos afectarían mínimamente a los parámetros petrofísicos de este reservorio.

### YACIMIENTO CORRIENTES

Se observa que en las muestras correspondientes a este yacimiento (M-07 a M-22) la compactación (Cap. 6.3.1.), aumenta gradualmente según la profundidad de enterramiento (2856.50m. a 3057.20m.), es así que estas muestras tienen predominio de contactos rectos (46.8%; M-21 y 22.4%; M-16), excepto 07 muestras correspondientes al pozo 44-XC (M-11 a M-17) que contiene regular a alta presencia de finos (4.7% - 18.5%) y materia orgánica (0.9% - 12.1%), incrementándose los contactos cóncavos-convexos notoriamente (16.2% a 22.1%) en las muestras más profundas (M-19 a M-22), confirmando también el aumento gradual y progresivo de la compactación el flexionamiento de la muscovita entre los granos detríticos (M-10 y M-22), conjuntamente



con películas carbonosas de forma estilolíticas (M-14).

Con respecto al proceso de "Presión-solución" (Cap. 6.3.2.), la presencia mínima de cementación silícea (< 2%) en las muestras (M-18 y M-20), se deberían a este proceso pues se aprecia un notorio incremento de la compactación evidenciado por altos valores (45.2%) de contactos rectos (M-09), así como valores máximos de: 20.5% y 3.9% para los contactos cóncavos-convexos y suturados (M-20) que evidenciarían la presencia de este proceso por el incremento de compactación.

En cuanto al proceso de cementación propiamente (Cap. 6.3.3.) aparte de la baja cementación silícea (< 2%), se presenta la cementación calcítica en ligeras a regulares cantidades (Tz – 9.5%), que sería el último material cementante (concordando con Woldschmidt & Füchtbauer, 1974) en la paragénesis de los cementantes. De los minerales autígenos se tiene la presencia de Glauconita, aunque en menores cantidades que los otros yacimientos (Tz – 12.5%) conjuntamente con la presencia de chert en ligeras cantidades (< 1%).

Los procesos diagenéticos secundarios como la descementación, disolución, lixiviación y fracturamiento se hacen presentes en algunas secciones delgadas pertenecientes a este yacimiento, que serán los responsables directos de la ocurrencia de porosidad secundaria en este yacimiento (Cap. 6.3.4. y Cap. 7.1.).

Evidencias de descementación calcítica se presenta en la muestra M-22 (Foto N°13), disolución de plagioclasas (M-20; Foto N°11), corrosión debido a soluciones alcalinas (M-12; Foto N°08) y microfracturamientos de los granos detríticos (M-14 y M-17), en la que prima el proceso de descementación según evidencias o reconocimiento en las secciones delgadas y que será el mayor responsable de la ocurrencia de porosidad secundaria en este yacimiento (Cap. 7.1.).

### **YACIMIENTO YANAYACU**

Se observa que las muestras correspondientes a este yacimiento (M-23 a M-30) presentan también un aumento moderado de la compactación (Cap. 6.3.1.), con algunas excepciones (M-24) que presenta altos valores de finos (21.9%). Este efecto mecánico se evidencia por las mayores profundidades de las muestras (3410.50 m. a 3532.33 m.) por la presencia notoria de contactos rectos máximos (32.9% - 57.5%) así como de los cóncavo-convexos (9.6% - 21.4%) y el máximo valor de los contactos suturados (4.1%; M-25) de todas las muestras estudiadas.

Con respecto al proceso de "Presión-solución" (Cap. 6.3.2.) se aprecian parcialmente evidencias de sobrecrecimiento en el cuarzo detrítico y trazas de cemento silíceo, formando cuarzos secundario (M-24 y M-25; Foto N°15) que podría generarse como consecuencia directa del efecto de compactación en estas muestras. Otra fuente de generación podría ser la evolución diagenética por movimientos convectivos (Según Perry & Hower, 1970) como es el caso de la muestra M-24 (3415.10 m.) que contiene un alto porcentaje de finos (21.9%) el cual inhibiría el efecto de la compactación.

En cuanto al proceso de cementación y autigénesis (Cap. 6.3.3.) se evidencia valores mínimos (< 2%) de cementación silícea (M-25; Foto N°15) y ligeras a menores cantidades de cementación calcárea (Tz – 3.5%), en contraste con regulares a altos

valores de otro mineral autígeno: la glauconita (7.6% - 28.4%) que presenta los valores máximos de todas las muestras estudiadas (M-24; Foto N°14), un último mineral diagenético observado es: la pirita (< 2%; Foto N°16), relacionado a la presencia regular de materia orgánica (2.7% - 7.8%).

En cuanto a los procesos diagenéticos secundarios (Cap. 6.3.3.) se observaron sólo trazas principalmente de descementación y disolución en algunas secciones delgadas de este yacimiento, como es el caso de la muestra M-26 (Foto N°16), asumiendo que gran parte de la porosidad ocurrente sean originadas por estos procesos diagenéticos.

## VII. PARÁMETROS PETROFÍSICOS

### 7.1. POROSIDAD ( $\Phi$ )

Es definido como el volumen vacío (poral) de una roca (aquel lleno de fluidos) dividido por el volumen total de una roca.

En los cálculos petrolíferos la porosidad puede expresarse en porcentaje (%) o en fracción decimal, respondiendo a la siguiente fórmula:

$$\Phi = \frac{\text{Volumen poral}}{\text{Volumen total}}$$

La porosidad es la capacidad que tiene una roca de contener fluidos. Para que un yacimiento sea comercialmente productivo es obvio que debe tener una porosidad suficiente para almacenar un volumen apreciable de hidrocarburos. Por tanto la porosidad es un parámetro petrofísico muy importante de las rocas productivas.

Entre los valores típicos de  $\Phi$  tenemos:

Mala: 0 - 5%

Pobre: 5 - 10%

Regular: 10 - 15%

Buena: 15 – 20

Muy buena: > 20%

Este estudio se considera dos tipos de porosidad: primaria y secundaria.

La cuantificación de la porosidad se puede obtener mediante dos métodos que son los siguientes:

- a). Métodos Directos (Laboratorio): Sumación de fluidos, resaturación y neutrónico.
- b). Métodos Indirectos: Análisis modal

Pero también puede obtenerse un estimado de porosidad aparente (visual), resultado del conteo de puntos en las secciones delgadas de este reservorio (% de: fracción detrítica, matriz, materia orgánica, cemento y porosidad visual), los cuales son presentados en la Tabla N° 06, donde los valores hallados de porosidad también fueron corroborados por el método de análisis visual (Anexo N°03, Terry & Chilingar, 1964).

Estos valores de porosidad aparente del reservorio Pona, han sido comparados con los valores de porosidad de los registros de densidad (Density Log) mostrados en la Tabla N° 07, para establecer una tendencia general de variación de los resultados porcentuales de este parámetro petrofísico en las muestras de sección delgada evaluadas (Discriminación de Porosidades).

Yacimiento	Intervalo	Porosidad (%)	Matriz (%)	Materia orgánica (%)	Cemento (%)	Porosidad visual (%)
PAVAYACU	10-15	12.5	10.0	1.0	0.5	11.5
PAVAYACU	15-20	14.0	11.0	1.0	0.5	12.5
PAVAYACU	20-25	15.5	12.0	1.0	0.5	14.0
PAVAYACU	25-30	17.0	13.0	1.0	0.5	15.5
PAVAYACU	30-35	18.5	14.0	1.0	0.5	17.0
PAVAYACU	35-40	20.0	15.0	1.0	0.5	18.5
PAVAYACU	40-45	21.5	16.0	1.0	0.5	20.0
PAVAYACU	45-50	23.0	17.0	1.0	0.5	21.5
PAVAYACU	50-55	24.5	18.0	1.0	0.5	23.0
PAVAYACU	55-60	26.0	19.0	1.0	0.5	24.5
PAVAYACU	60-65	27.5	20.0	1.0	0.5	26.0
PAVAYACU	65-70	29.0	21.0	1.0	0.5	27.5
PAVAYACU	70-75	30.5	22.0	1.0	0.5	29.0
PAVAYACU	75-80	32.0	23.0	1.0	0.5	30.5
PAVAYACU	80-85	33.5	24.0	1.0	0.5	32.0
PAVAYACU	85-90	35.0	25.0	1.0	0.5	33.5
PAVAYACU	90-95	36.5	26.0	1.0	0.5	35.0
PAVAYACU	95-100	38.0	27.0	1.0	0.5	36.5
PAVAYACU	100-105	39.5	28.0	1.0	0.5	38.0
PAVAYACU	105-110	41.0	29.0	1.0	0.5	39.5
PAVAYACU	110-115	42.5	30.0	1.0	0.5	41.0
PAVAYACU	115-120	44.0	31.0	1.0	0.5	42.5
PAVAYACU	120-125	45.5	32.0	1.0	0.5	44.0
PAVAYACU	125-130	47.0	33.0	1.0	0.5	45.5
PAVAYACU	130-135	48.5	34.0	1.0	0.5	47.0
PAVAYACU	135-140	50.0	35.0	1.0	0.5	48.5
PAVAYACU	140-145	51.5	36.0	1.0	0.5	50.0
PAVAYACU	145-150	53.0	37.0	1.0	0.5	51.5
PAVAYACU	150-155	54.5	38.0	1.0	0.5	53.0
PAVAYACU	155-160	56.0	39.0	1.0	0.5	54.5
PAVAYACU	160-165	57.5	40.0	1.0	0.5	56.0
PAVAYACU	165-170	59.0	41.0	1.0	0.5	57.5
PAVAYACU	170-175	60.5	42.0	1.0	0.5	59.0
PAVAYACU	175-180	62.0	43.0	1.0	0.5	60.5
PAVAYACU	180-185	63.5	44.0	1.0	0.5	62.0
PAVAYACU	185-190	65.0	45.0	1.0	0.5	63.5
PAVAYACU	190-195	66.5	46.0	1.0	0.5	65.0
PAVAYACU	195-200	68.0	47.0	1.0	0.5	66.5
PAVAYACU	200-205	69.5	48.0	1.0	0.5	68.0
PAVAYACU	205-210	71.0	49.0	1.0	0.5	69.5
PAVAYACU	210-215	72.5	50.0	1.0	0.5	71.0
PAVAYACU	215-220	74.0	51.0	1.0	0.5	72.5
PAVAYACU	220-225	75.5	52.0	1.0	0.5	74.0
PAVAYACU	225-230	77.0	53.0	1.0	0.5	75.5
PAVAYACU	230-235	78.5	54.0	1.0	0.5	77.0
PAVAYACU	235-240	80.0	55.0	1.0	0.5	78.5
PAVAYACU	240-245	81.5	56.0	1.0	0.5	80.0
PAVAYACU	245-250	83.0	57.0	1.0	0.5	81.5
PAVAYACU	250-255	84.5	58.0	1.0	0.5	83.0
PAVAYACU	255-260	86.0	59.0	1.0	0.5	84.5
PAVAYACU	260-265	87.5	60.0	1.0	0.5	86.0
PAVAYACU	265-270	89.0	61.0	1.0	0.5	87.5
PAVAYACU	270-275	90.5	62.0	1.0	0.5	89.0
PAVAYACU	275-280	92.0	63.0	1.0	0.5	90.5
PAVAYACU	280-285	93.5	64.0	1.0	0.5	92.0
PAVAYACU	285-290	95.0	65.0	1.0	0.5	93.5
PAVAYACU	290-295	96.5	66.0	1.0	0.5	95.0
PAVAYACU	295-300	98.0	67.0	1.0	0.5	96.5
PAVAYACU	300-305	99.5	68.0	1.0	0.5	98.0
PAVAYACU	305-310	101.0	69.0	1.0	0.5	99.5
PAVAYACU	310-315	102.5	70.0	1.0	0.5	101.0
PAVAYACU	315-320	104.0	71.0	1.0	0.5	102.5
PAVAYACU	320-325	105.5	72.0	1.0	0.5	104.0
PAVAYACU	325-330	107.0	73.0	1.0	0.5	105.5
PAVAYACU	330-335	108.5	74.0	1.0	0.5	107.0
PAVAYACU	335-340	110.0	75.0	1.0	0.5	108.5
PAVAYACU	340-345	111.5	76.0	1.0	0.5	110.0
PAVAYACU	345-350	113.0	77.0	1.0	0.5	111.5
PAVAYACU	350-355	114.5	78.0	1.0	0.5	113.0
PAVAYACU	355-360	116.0	79.0	1.0	0.5	114.5
PAVAYACU	360-365	117.5	80.0	1.0	0.5	116.0
PAVAYACU	365-370	119.0	81.0	1.0	0.5	117.5
PAVAYACU	370-375	120.5	82.0	1.0	0.5	119.0
PAVAYACU	375-380	122.0	83.0	1.0	0.5	120.5
PAVAYACU	380-385	123.5	84.0	1.0	0.5	122.0
PAVAYACU	385-390	125.0	85.0	1.0	0.5	123.5
PAVAYACU	390-395	126.5	86.0	1.0	0.5	125.0
PAVAYACU	395-400	128.0	87.0	1.0	0.5	126.5
PAVAYACU	400-405	129.5	88.0	1.0	0.5	128.0
PAVAYACU	405-410	131.0	89.0	1.0	0.5	129.5
PAVAYACU	410-415	132.5	90.0	1.0	0.5	131.0
PAVAYACU	415-420	134.0	91.0	1.0	0.5	132.5
PAVAYACU	420-425	135.5	92.0	1.0	0.5	134.0
PAVAYACU	425-430	137.0	93.0	1.0	0.5	135.5
PAVAYACU	430-435	138.5	94.0	1.0	0.5	137.0
PAVAYACU	435-440	140.0	95.0	1.0	0.5	138.5
PAVAYACU	440-445	141.5	96.0	1.0	0.5	140.0
PAVAYACU	445-450	143.0	97.0	1.0	0.5	141.5
PAVAYACU	450-455	144.5	98.0	1.0	0.5	143.0
PAVAYACU	455-460	146.0	99.0	1.0	0.5	144.5
PAVAYACU	460-465	147.5	100.0	1.0	0.5	146.0
PAVAYACU	465-470	149.0	101.0	1.0	0.5	147.5
PAVAYACU	470-475	150.5	102.0	1.0	0.5	149.0
PAVAYACU	475-480	152.0	103.0	1.0	0.5	150.5
PAVAYACU	480-485	153.5	104.0	1.0	0.5	152.0
PAVAYACU	485-490	155.0	105.0	1.0	0.5	153.5
PAVAYACU	490-495	156.5	106.0	1.0	0.5	155.0
PAVAYACU	495-500	158.0	107.0	1.0	0.5	156.5
PAVAYACU	500-505	159.5	108.0	1.0	0.5	158.0
PAVAYACU	505-510	161.0	109.0	1.0	0.5	159.5
PAVAYACU	510-515	162.5	110.0	1.0	0.5	161.0
PAVAYACU	515-520	164.0	111.0	1.0	0.5	162.5
PAVAYACU	520-525	165.5	112.0	1.0	0.5	164.0
PAVAYACU	525-530	167.0	113.0	1.0	0.5	165.5
PAVAYACU	530-535	168.5	114.0	1.0	0.5	167.0
PAVAYACU	535-540	170.0	115.0	1.0	0.5	168.5
PAVAYACU	540-545	171.5	116.0	1.0	0.5	170.0
PAVAYACU	545-550	173.0	117.0	1.0	0.5	171.5
PAVAYACU	550-555	174.5	118.0	1.0	0.5	173.0
PAVAYACU	555-560	176.0	119.0	1.0	0.5	174.5
PAVAYACU	560-565	177.5	120.0	1.0	0.5	176.0
PAVAYACU	565-570	179.0	121.0	1.0	0.5	177.5
PAVAYACU	570-575	180.5	122.0	1.0	0.5	179.0
PAVAYACU	575-580	182.0	123.0	1.0	0.5	180.5
PAVAYACU	580-585	183.5	124.0	1.0	0.5	182.0
PAVAYACU	585-590	185.0	125.0	1.0	0.5	183.5
PAVAYACU	590-595	186.5	126.0	1.0	0.5	185.0
PAVAYACU	595-600	188.0	127.0	1.0	0.5	186.5
PAVAYACU	600-605	189.5	128.0	1.0	0.5	188.0
PAVAYACU	605-610	191.0	129.0	1.0	0.5	189.5
PAVAYACU	610-615	192.5	130.0	1.0	0.5	191.0
PAVAYACU	615-620	194.0	131.0	1.0	0.5	192.5
PAVAYACU	620-625	195.5	132.0	1.0	0.5	194.0
PAVAYACU	625-630	197.0	133.0	1.0	0.5	195.5
PAVAYACU	630-635	198.5	134.0	1.0	0.5	197.0
PAVAYACU	635-640	200.0	135.0	1.0	0.5	198.5
PAVAYACU	640-645	201.5	136.0	1.0	0.5	200.0
PAVAYACU	645-650	203.0	137.0	1.0	0.5	201.5
PAVAYACU	650-655	204.5	138.0	1.0	0.5	203.0
PAVAYACU	655-660	206.0	139.0	1.0	0.5	204.5
PAVAYACU	660-665	207.5	140.0	1.0	0.5	206.0
PAVAYACU	665-670	209.0	141.0	1.0	0.5	207.5
PAVAYACU	670-675	210.5	142.0	1.0	0.5	209.0
PAVAYACU	675-680	212.0	143.0	1.0	0.5	210.5
PAVAYACU	680-685	213.5	144.0	1.0	0.5	212.0
PAVAYACU	685-690	215.0	145.0	1.0	0.5	213.5
PAVAYACU	690-695	216.5	146.0	1.0	0.5	215.0
PAVAYACU	695-700	218.0	147.0	1.0	0.5	216.5
PAVAYACU	700-705	219.5	148.0	1.0	0.5	218.0
PAVAYACU	705-710	221.0	149.0	1.0	0.5	219.5
PAVAYACU	710-715	222.5	150.0	1.0	0.5	221.0
PAVAYACU	715-720	224.0	151.0	1.0	0.5	222.5
PAVAYACU	720-725	225.5	152.0	1.0	0.5	224.0
PAVAYACU	725-730	227.0	153.0	1.0	0.5	225.5
PAVAYACU	730-735	228.5	154.0	1.0	0.5	227.0
PAVAYACU	735-740	230.0	155.0	1.0	0.5	228.5
PAVAYACU	740-745	231.5	156.0	1.0	0.5	230.0
PAVAYACU	745-750	233.0	157.0	1.0	0.5	231.5
PAVAYACU	750-755	234.5	158.0	1.0	0.5	233.0
PAVAYACU	755-760	236.0	159.0	1.0	0.5	234.5
PAVAYACU	760-765	237.5	160.0	1.0	0.5	236.0
PAVAYACU	765-770	239.0	161.0	1.0	0.5	237.5
PAVAYACU	770-775	240.5	162.0	1.0	0.5	239.0
PAVAYACU	775-780	242.0	163.0	1.0	0.5	240.5
PAVAYACU	780-785	243.5	164.0	1.0	0.5	242.0
PAVAYACU	785-790	245.0	165.0	1.0	0.5	243.5
PAVAYACU	790-795	246.5	166.0	1.0	0.5	245.0
PAVAYACU	795-800	248.0	167.0	1.0	0.5	246.5
PAVAYACU	800-805	249.5	168.0	1.0	0.5	248.0
PAVAYACU	805-810	251.0	169.0	1.0	0.5	249.5
PAVAYACU	810-815	252.5	170.0	1.0	0.5	251.0
PAVAYACU	815-820	254.0	171.0	1.0	0.5	252.5

CITE. PONA	PEROSIDAD	RESERVA	# (VISUAL)	# (ILD)
Pavacu 25-0	2000.00	14.00	4.7	15.5
Pavacu 26-0	2000.00	14.00	9.7	16.0
Pavacu 27-0	2000.00	14.00	10.0	12.2
Pavacu 28-0	2000.40	14.00	14.0	16.0
Pavacu 29-0	2000.00	14.00	14.0	17.0
Pavacu 30-0	2000.00	14.00	12.0	16.0
Corrientes 17-0	2000.00	14.00	10.7	14.0
Corrientes 18-0	2000.00	14.00	14.0	16.0
Corrientes 19-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Corrientes 20-0	2000.00	14.00	18.0	16.0
Corrientes 21-0	2000.00	14.00	18.0	16.0
Corrientes 22-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Corrientes 23-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Corrientes 24-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Corrientes 25-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Corrientes 26-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Corrientes 27-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Corrientes 28-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Corrientes 29-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Corrientes 30-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 1-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 2-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 3-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 4-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 5-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 6-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 7-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 8-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 9-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 10-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 11-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 12-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 13-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 14-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 15-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 16-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 17-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 18-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 19-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 20-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 21-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 22-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 23-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 24-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 25-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 26-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 27-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 28-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 29-0	2000.00	14.00	17.0	16.0
Yanayacu 30-0	2000.00	14.00	17.0	16.0

Tabla N° 07. Comparación entre porosidades (VISUAL vs. ILD) del reservorio Pona.  
Yacimientos: Pavayacu, Corrientes y Yanayacu.

### 7.1.1. TIPOS DE POROSIDAD

**POROSIDAD PRIMARIA:** Comúnmente llamada "porosidad intergranular", es aquella que se genera como consecuencia de los espacios vacíos entre el arreglo primario de los granos después de su acumulación como sedimento. Esta porosidad es una característica inherente de la roca fijada al momento de su sedimentación. Generalmente corresponde al modelo poroso de una roca clástica.

Se ha discutido ampliamente sobre la incidencia de los caracteres texturales sobre la variación de la porosidad inicial, descripción que escaparía a este estudio. Sin embargo mencionaremos los factores que afectan la porosidad primaria:

- Empaquetamiento
- Selección
- Cemento
- Angularidad / Redondez
- Compactación

Generalmente se sabe que la porosidad primaria es mayor que la porosidad secundaria, sin embargo aparentemente basándonos en la discriminación de estos tipos de porosidad (Schmidt & Mc Donald, 1979), algunas muestras evaluadas tienen notoria porosidad secundaria, mostrándose los porcentajes de estos tipos de porosidad en la Tabla N° 08.

**POROSIDAD SECUNDARIA:** Es aquella que se genera como consecuencia de la acción de procesos diagenéticos o procesos geológicos en general. Es post-singenética y en el caso de las areniscas es principalmente originado por la disolución de constituyentes no-silicatados, predominantemente carbonatos, que ocurren como:

material sedimentario, cemento autigénico y reemplazamiento autigénico.

Las principales clases genéticas de porosidad secundaria se muestran en la Fig. N° 15, siendo las siguientes:

- 1) Porosidad creada por fracturamiento
- 2) Porosidad creada por desprendimiento
- 3) Disolución de material sedimentario (fósil)
- 4) Disolución del cemento autógeno
- 5) Disolución de reemplazamiento de minerales autógenos.

Las condiciones óptimas para la generación de porosidad secundaria en areniscas es resultado de procesos diagenéticos secundarios (Fig. N° 15), que van a condicionar la importancia cuantitativa de este tipo de porosidad.

Para el reconocimiento visual en el microscópico petrográfico de la porosidad secundaria en las muestras evaluadas, se usaron los "criterios petrográficos" (Fig. N° 16), que en un total de ocho, son los criterios más usados.

Estos "criterios petrográficos" son los siguientes:

- 1) Disolución parcial
- 2) Poral Mórdico
- 3) Heterogeneidad del empaque
- 4) Sobrecrecimiento poral
- 5) Poros elongados
- 6) Granos corroídos
- 7) Granos en "peineta"
- 8) Granos fracturados.

En las láminas de sección delgada del reservorio en estudio, se reconocieron cinco criterios petrográficos: disolución parcial (M-22; Foto N°13), sobrecrecimiento M-26; Foto N°16), poros elongados (M-17), granos corroídos (M-21; Foto N°12) y granos en peineta (M-06; Foto N°05).

Que en conjunto evidencian la presencia de la porosidad secundaria, aumentando la porosidad total del reservorio.

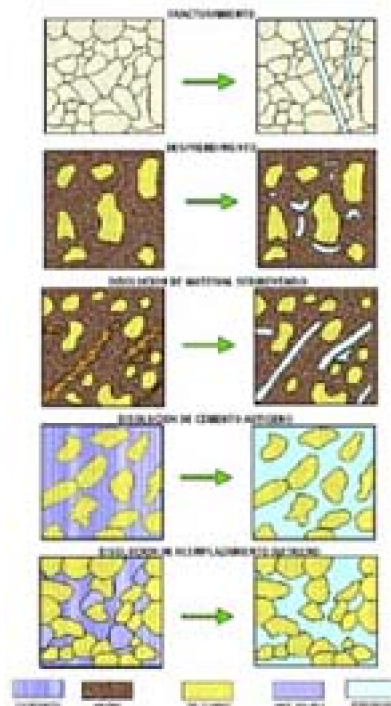


Figura N° 15. Clases genéticas de porosidad secundaria.



Figura N° 16. Criterios micropetrograficos para el reconocimiento de porosidad secundaria en areniscas.

### 7.1.2. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Sobre la base de la comparación de valores de porosidad visual y los valores registrados del Density Log (Tabla N°07) en cada sección evaluada, nos permite definir la tendencia general de este parámetro petrofísico y a la vez determinar la veracidad porcentual de las

porosidades visuales halladas en cada una de las secciones delgadas.

Se presentan 3 gráficos (GRAF. N°08, GRAF. N°09 y GRAF. N°10), donde las muestras del reservorio en estudio son agrupadas por yacimientos, los que se analizan a continuación.

#### **YACIMIENTO PAVAYACU**

En el gráfico: GRAF. N°08 las 06 muestras analizadas pertenecientes a este yacimiento (M-1 a M-06) graficadas de acuerdo a la profundidad de soterramiento (2809.50 m. – 2893.15 m.), nos muestran para el pozo 79 – D un incremento de la porosidad con el soterramiento (6.5%;M-05 y 10.9%;M-06), razón que se explica por el alto contenido de cemento calcítico (25.7%) y materia orgánica (8.2%) los cuales rellenan los espacios porales en la muestra de M-05, independientemente de tener menos profundidad de soterramiento que la muestra M-06. En cambio las muestras del pozo 67-D (M-01 a M-04) si bien comienzan también con un incremento de la porosidad (M-01 y M-02) conforme aumenta la profundidad, termina mostrando una tendencia decreciente de este parámetro petrofísico con la mayor profundidad (M-02, M-03 y M-04). Evidenciando una vez más que la porosidad principalmente primaria está en función del contenido de finos (matriz), cemento y materia orgánica en sus intersticios independiente a su profundidad de soterramiento.

#### **YACIMIENTO CORRIENTES**

En el gráfico: GRAF. N°09, las 16 muestras correspondientes a este yacimiento (M-08 a M-22), nos muestran una dispersión de puntos principalmente en los pozos 12-XC y 44-XC, debido a la variable cantidad de la matriz, cemento y materia orgánica en estas muestras (M-08 a M-15), que presentan valores máximos de: 18.5% (matriz) y 9.5% (cemento) en la muestra M-15, justamente la de menos valor de porosidad (9.7%) en este yacimiento. Sin embargo la tendencia decreciente de la porosidad se mantiene sobre todo en las últimas muestras (M-17 y M-18). Las muestras de mayor profundidad (M-19 a M-22) del pozo 116–D presentan una buena conservación de la porosidad (14.8% - 23.6%) con una tendencia decreciente (M-19 a M-21) de este parámetro petrofísico, pero incrementándose en la última muestra M-22. Como mencionamos anteriormente el contenido de finos, cemento y materia orgánica determinará la mayor o menor porosidad en las muestras independientemente de la profundidad de soterramiento. Sin embargo debemos considerar que éstas muestras están a profundidades mayores de 3000 metros y la compactación a sido moderada (Tabla N°05), con valores regulares a bajos de los finos (10.2% - 3.4%), escaso cemento (3.3% - 1.6%) y materia orgánica (3.1% - 1.3%), lo cual nos indicaría que la porosidad es principalmente secundaria, evidenciado por procesos diagenéticos de disolución (descementación) y en menor grado por microfracturamientos (Fotos: N°08 y N°13).

#### **YACIMIENTO YANAYACU**

En el gráfico: GRAF. N°10, las 08 muestras correspondientes a este yacimiento (M-23 a M-30), nos muestran para el pozo 32-X (M-22 y M-23) una tendencia decreciente de la porosidad (17.1% - 6.1%) con el incremento de la profundidad, complementado por altos valores de 21.9% (matriz) y 4.2% (materia orgánica) en la muestra de mayor profundidad (M-23). Con respecto a las muestras correspondientes al pozo 27-X (M-24 a



M-30), si bien aumenta en un primer momento (M-25) comienza a decrecer progresivamente conforme aumenta la profundidad (M-26 a M-30). La nula a escasa (trazas) cementación calcárea y evidencias de descementación así como la disolución de granos detríticos (M-26; Foto N°16) en estas muestras, nos sugiere la presencia de porosidad secundaria (Tabla N°08), que aumenta o preservaría los espacios porales en estas muestras correspondientes a este yacimiento.

**VARIACIÓN Y COMPARACIÓN DE POROSIDADES APARENTES (VISUALES) VS. ILD (DENSITY LOG)**

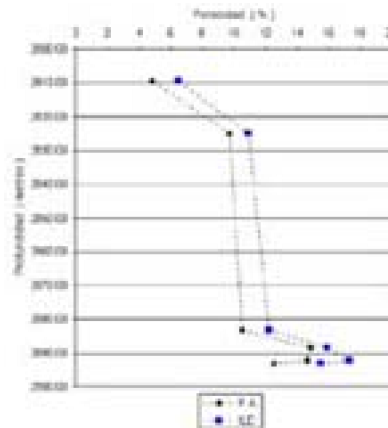


Gráfico N° 08. Yacimiento Pavayacu.

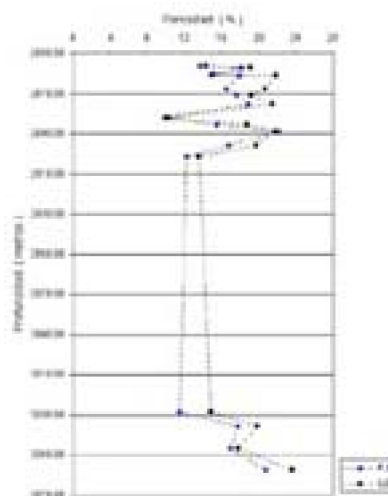


Gráfico N° 09. Yacimiento Corrientes.

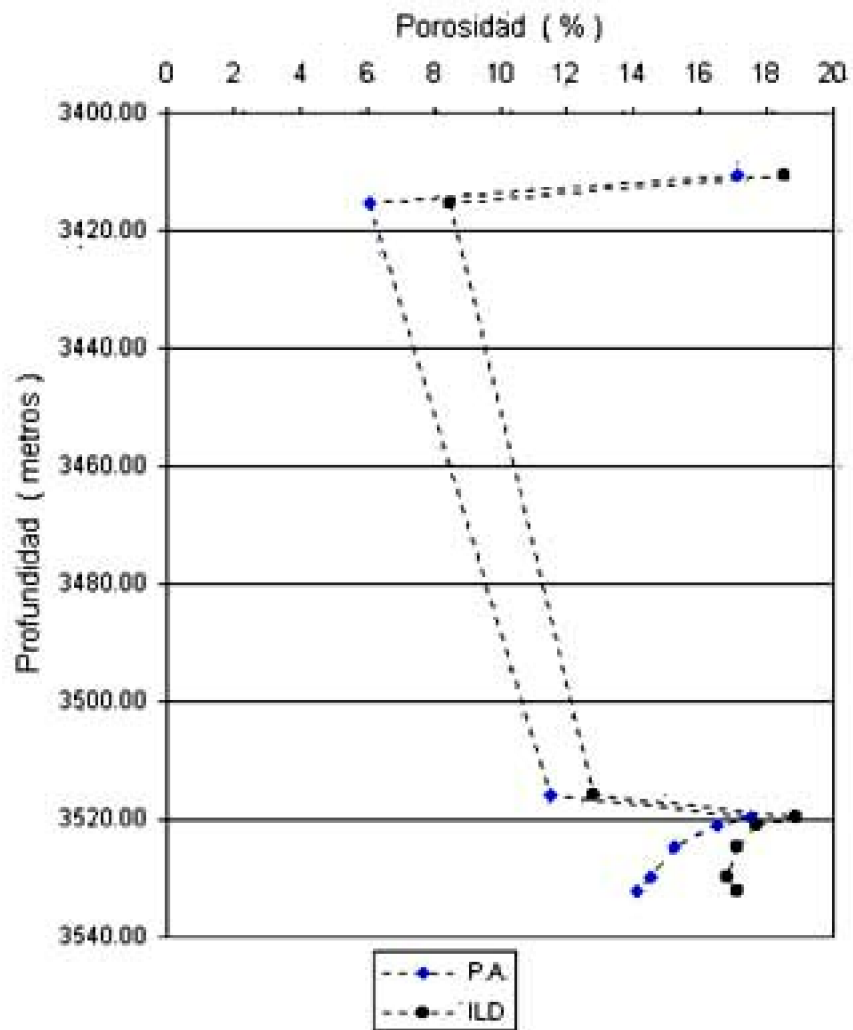


Gráfico N° 10. Yacimiento Yanayacu.

### DISCRIMINACIÓN DE POROSIDADES

En base al reconocimiento de las principales clases genéticas de porosidad secundaria (Fig. N°15) y los “criterios petrográficos” (Fig. N°16) en cada una de las secciones delgadas evaluadas, se hicieron un reconocimiento general para intentar discriminar estos dos tipos de porosidades (Schmidt & Mc Donald, 1979). Aparentemente hay una notoria presencia de porosidades secundarias (Tabla N°08), que evidenciarían la presencia de procesos secundarios diagenéticos, como la descementación y disolución de detritos componentes. Realizando un análisis preliminar de estas porosidades aparentes se observa que las porosidades secundarias se encuentran relacionadas a las muestras con contenido calcítico, que han sufrido posteriormente el proceso diagenético secundario de descementación, como es el caso de las muestra M-01 y M-22. Mientras que donde existan regulares a altos contenidos de matriz (>10.2%), este tipo de porosidad decrece considerablemente como es el caso de la muestra M-24 (6.1%).

También se aprecian que los mayores valores de porosidad observados (Tabla N°07) en cada una de las secciones delgadas corresponden a los que presentan mayores valores de porosidad secundaria (Tabla N°08), como lo evidencian las muestras M-03

(8.5%; 6.1%), M-16 (13.5%; 8.6%) y M-26 (10.4%; 7.1%) en los yacimientos Pavayacu, Corrientes y Yanayacu, respectivamente.

Se debe hacer presente que esta aparente discriminación de porosidades constituye un inicio preliminar a un estudio mas completo de porosidades, razón que escapa a este tema de Tesis.

Solo se hicieron una determinación preliminar para intentar relacionarla con los procesos diagenéticos ocurrentes en el reservorio Pona, materia principal de este estudio.

YCTO. PORO	PROFUNDIDAD	RESERVA	# PRIMARIA	# SECUNDARIA	# TOTAL
Pavayacu 79 - D	2004.00	99 - 09	3.1	1.7	4.8
Pavayacu 79 - D	2025.00	99 - 09	5.9	1.0	6.9
Pavayacu 87 - D	2004.00	99 - 09	0.8	0.5	1.3
Pavayacu 87 - D	2004.40	99 - 09	0.9	0.9	1.8
Pavayacu 87 - D	2002.20	99 - 09	0.0	0.9	0.9
Pavayacu 87 - D	2004.70	99 - 09	0.2	0.3	0.5
Corrientes 12 - AC	2006.00	99 - 07	0.8	0.0	0.8
Corrientes 12 - AC	2006.00	99 - 08	0.5	0.0	0.5
Corrientes 12 - AC	2007.00	99 - 08	0.5	0.1	0.6
Corrientes 12 - AC	2006.50	99 - 09	1.2	0.0	1.2
Corrientes 44 - AC	2007.00	99 - 11	11.8	0.0	11.8
Corrientes 44 - AC	2007.00	99 - 12	10.2	0.7	10.9
Corrientes 44 - AC	2007.00	99 - 13	10.6	0.0	10.6
Corrientes 44 - AC	2007.40	99 - 14	0.7	0.7	1.4
Corrientes 44 - AC	2002.00	99 - 16	0.9	0.0	0.9
Corrientes 44 - AC	2006.00	99 - 16	0.5	0.0	0.5
Corrientes 44 - AC	2006.00	99 - 17	0.9	0.0	0.9
Corrientes 44 - AC	2004.00	99 - 18	0.0	0.9	0.9
Corrientes 118 - D	2006.00	99 - 19	7.9	0.0	7.9
Corrientes 118 - D	2006.00	99 - 20	0.5	0.0	0.5
Corrientes 118 - D	2006.50	99 - 21	0.0	0.0	0.0
Corrientes 118 - D	2007.20	99 - 22	10.1	0.7	10.8
Yanayacu 27 - E	2003.00	99 - 23	0.9	0.2	1.1
Yanayacu 27 - E	2003.70	99 - 24	0.0	0.0	0.0
Yanayacu 27 - E	2004.00	99 - 25	0.0	0.7	0.7
Yanayacu 27 - E	2004.00	99 - 26	0.0	0.0	0.0
Yanayacu 27 - E	2004.00	99 - 27	0.0	0.7	0.7
Yanayacu 27 - E	2004.00	99 - 28	1.0	0.0	1.0
Yanayacu 27 - E	2029.00	99 - 29	0.7	0.0	0.7
Yanayacu 27 - E	2037.00	99 - 30	0.9	0.7	1.6

**LEYENDA:**

- # PRIMARIA. Porosidad Primaria
- # SECUNDARIA. Porosidad Secundaria
- # TOTAL. Porosidad Total

Tabla N° 08. Discriminación entre porosidades: Primaria y secundaria del reservorio Pona. Yacimientos: Pavayacu, Corrientes y Yanayacu.

## 7.2. PERMEABILIDAD

Es la capacidad que posee un sedimento o roca para dejar pasar un fluido a través de ella. También es definida como la capacidad de flujo de los fluidos contenidos dentro de un reservorio.

Para que un yacimiento (reservorio) sea comercial es necesario no solo que contenga petróleo o gas sino que estos fluidos puedan desplazarse dentro de este y salir a la superficie. Por consiguiente, es obvio que el reservorio solo es permeable cuando los

Poros están interconectados (porosidad efectiva o eficaz). Si esta interconexión no existe, la roca puede ser porosa pero no tiene permeabilidad.

En 1865, el Ingeniero Francés Henry Darcy, diseñó un método para medir la permeabilidad, la cual toma como unidad de medida el "darcy" que es estandarizada

como:

"La permeabilidad es 1 darcy cuando 1cm<sup>2</sup> de superficie de reservorio suelta 1 cm<sup>3</sup> de fluido de viscosidad unidad en 1 segundo bajo una presión de 1 atm/cm<sup>2</sup>

La permeabilidad responde a la siguiente ecuación:

$$Q = K \times \frac{P \cdot S \cdot t}{\mu \cdot L}$$

Donde:

Q = Volúmen del fluido (cm<sup>3</sup>/seg)

K = Constante de permeabilidad (darcy)

P = Presión del fluido (atmósferas)

S = Area de la sección (cm<sup>2</sup>)

t = Tiempo del fluido a estas condiciones (seg)

μ = Viscosidad del fluido (centipoise)

L = Longitud atravesada por el fluido (cm)

La mayor parte de los reservorios productores tienen permeabilidades promedio inferior a un darcy, por consiguiente, la permeabilidad se mide en milésimas de darcy o milidarcy (md).

Entre los valores típicos de permeabilidad establecidos por los análisis de núcleos en Laboratorio se tiene:

Regular: 1 - 10 md

Buena: 10 - 100 md

Muy buena: 100 - 1000 md

De ahí que la cuantificación de la permeabilidad se realice mediante el análisis del núcleo en el permeómetro (Laboratorio), mientras que de los registros electrográficos solo estima valores aproximados de permeabilidad.

Se pueden medir tanto la permeabilidad horizontal como la permeabilidad vertical. Siendo la horizontal de mayor valor, pues el alineamiento de los granos es normalmente con su eje mayor paralelo a la superficie donde se depositan.

Existen varios parámetros que influyen en la permeabilidad como: temperatura, gradiente hidráulico (presión), forma - tamaño - continuidad de los poros y principalmente del empaquetamiento granular.

## **7.2.1. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

---

Sobre la base del análisis de los parámetros de empaque y tipos de contacto (Cap.5.3.6.) podemos inferir valores cualitativos de permeabilidad, vale decir que en secuencias más compactadas el incremento de la densidad de empaque es mayor, generando el

incremento de contactos rectos, sinuosos a suturados, produciendo la disminución de la permeabilidad, como es el caso de las muestras: M-18, M-21 y M-22 del yacimiento Corrientes y las muestras: M-25, M-27 y M-29 del yacimiento Yanayacu.

Otro factor importante en la disminución de la permeabilidad es el contenido de matriz principalmente arcillosa y el desarrollo de la cementación, los cuales inhiben considerablemente la permeabilidad, así como también la neoformación de minerales autógenos, que podrían inclusive formar secuencias impermeabilizadas.

Se aprecian la ocurrencia de estos factores en el yacimiento Pavayacu, en las muestras: M-01, M-03, M-04, M-05 y M-06, en los cuales hay valores hasta de: 15.1% (matriz), 48.8% (cemento calcítico) y 10.8 % de materia orgánica; siendo para este yacimiento los valores de permeabilidad del reservorio Pona entre 25md. y 70 md.

En el yacimiento Corrientes, la ocurrencia de estos factores se presenta principalmente en las muestras del pozo 44-XC (M-15, M-18 y M-19), en los cuales hay valores hasta de: 18.5% (matriz), 9.5% (cemento) y 7.2% (materia orgánica), siendo para este yacimiento los valores de permeabilidad del reservorio Pona entre 10 md. Y 90 md.

En el yacimiento Yanayacu, la ocurrencia de estos factores se aprecia principalmente en las muestras: M-24, M-28, M-29 y M-30, en los cuales hay valores hasta de 21.9% (matriz), 28.4% de glauconita y 5.1% (materia orgánica); siendo para este yacimiento los valores de permeabilidad del reservorio Pona muy amplios que van de 2md. y 180 md.



## VIII. FACTORES DIAGENETICOS Y PARÁMETROS PETROFÍSICOS

Los procesos diagenéticos sean primarios o secundarios (Cap.6.3.) van a controlar evidentemente los principales parámetros petrofísicos (porosidad y permeabilidad) de una roca reservorio.

Los procesos diagenéticos primarios llámese: Compactación, Presión-solución, Autigénesis y Cementación, producirán una disminución de estos parámetros petrofísicos conforme va en aumento la profundidad de soterramiento.

Mientras que los procesos diagenéticos secundarios llámese: Disolución, Descementación, Lixiviación y Fracturamiento, producirán una preservación y/o un aumento de los valores porcentuales de estos parámetros petrofísicos.

Entonces es importante determinar la ocurrencia de estos procesos diagenéticos en una arenisca reservorio, para controles del reservorio, recuperaciones mejoradas e inclusive con fines explorativos.

Después de determinar y analizar (Cap.6.3. y Cap.6.4.) los procesos diagenéticos (primarios y secundarios) observados en las secciones delgadas. Así como su relación con los análisis y resultados de las porosidades visuales (aparentes) y porosidades de los registros ILD (Cap.7.1.2.), se presentan a continuación los principales procesos diagenéticos que estarían controlando los parámetros petrofísicos en la roca reservorio Pona, principalmente a la porosidad (primaria y secundaria), conjuntamente con un factor

importante: la matriz arcillosa intersticial, que dada su persistente a notable presencia en la mayoría de las muestras (Tabla N°06), va a caracterizar a esta roca reservorio.

Estos principales procesos diagenéticos, de acuerdo a su clasificación (Cuadro N°05) son:

#### **I. PROCESOS PRIMARIOS:**

**1. COMPACTACIÓN.** Este proceso físico-mecánico que reduce los parámetros petrofísicos en las areniscas del reservorio Pona, debido a la presión de sobrecarga (overburden) conforme aumenta la profundidad de enterramiento, se incrementa gradualmente con la profundidad, según el alineamiento estructural de los yacimientos estudiados (Pavayacu, Corrientes y Yanayacu) y en general en todo el Lote 8, siguiendo una dirección NNW – SSE (Fig. N°01 y Fig. N°07).

Así en el yacimiento Pavayacu, situado al NNW de los otros yacimientos en estudio (Corrientes y Yanayacu) y de generalmente menor profundidad que estos a nivel del reservorio Pona, presenta los valores mas bajos de compactación (Cap.6.3.1.) evidenciados por el predominio de los contactos: flotantes, tangentes y rectos (Cap.6.4.), así como por los valores menores de parámetros de empaque (Cap.5.3.6.), hallados en las muestras correspondientes a este yacimiento.

Siguiendo la alineación estructural (NW-SE) hacia el SE, se observa que en el yacimiento Corrientes se va incrementando la compactación gradualmente en las areniscas del reservorio Pona (Cap.6.3.1.) de acuerdo al soterramiento, evidenciado por el predominio de los contactos rectos y el incremento notorio de los contactos cóncavos-convexos en las muestras más profundas (M-19 a M-22) correspondientes a este yacimiento (Cap.6.4.). Una evidencia más de compactación moderada sería el ligero flexionamiento de las micas (muscovita) entre los granos detríticos de esta roca reservorio (M-10 y M-21) y la presencia de películas carbonosas de formas estilolíticas (M-14).

El yacimiento Yanayacu, último y más al SSE de los yacimientos en estudio y del Lote 8, presenta también un aumento gradual de compactación (Cap.6.1.3.), debido a que las muestras y en general la roca reservorio Pona está a profundidades mayores de 3400 metros de soterramiento, razón evidente del predominio de los contactos rectos, del aumento notorio de los contactos cóncavos-convexos y del máximo valor de los contactos suturados, halladas en estas muestras del Pona, correspondientes a este yacimiento (Cap.6.4.).

Es de esperar de acuerdo a un incremento moderado de la compactación, la presencia de otro proceso diagenético primario: la “presión-solución”, que se evidencio por la ocurrencia mínima de cementación silíceo en tres muestras (M-09, M-18 y M-20) del yacimiento Corrientes y dos muestras del yacimiento Yanayacu (M-24 y M-25) así como los sobrecrecimientos de cuarzo secundario observados en estas muestras (Cap.6.3.2. y Cap.6.4.), lo que evidenciaría una vez mas el efecto moderado de la compactación en el reservorio Pona.

Con respecto al proceso de presión-solución dado que se evidencio en estas muestras mencionadas anteriormente como trazas a valores < de 2%, no se le considera



como un proceso importante en esta roca reservorio, por lo que solo se le menciona como un efecto o evidencia mas de la compactación, que afectaría regionalmente con más intensidad hacia el Sur y Sureste del área de estudio.

**2. AUTIGÉNESIS Y CEMENTACIÓN.** Estos procesos primarios diagenéticos involucran procesos químicos que pueden generar cambios mineralógicos e inclusive nueva mineralogía principalmente a partir de la interacción de los componentes del sedimento (minerales inestables) y de la acción iónica de los fluidos porales.

Si bien la cementación silíceo no llega a valores > de 2% en algunas muestras del reservorio Pona (Cap.6.3.3. y Cap.6.4.), por lo tanto no se le considera importante. La cementación calcárea si es representativa y evidente en la mayoría de las muestras de la roca reservorio Pona, principalmente en el yacimiento Pavayacu (Tabla N°06), donde se presenta tanto como cemento y matriz (Cap.6.3.3. y Cap.6.4.), hallándose valores de concentración hasta de 30.7% (M-05). Mientras que en los yacimientos Corrientes y Yanayacu los valores de concentración bajan considerablemente, hallándose valores máximos de 9.5% (M-18) y 3.5% (M-23).

Siguiendo la paragénesis de Woldschmidt & Füchtbauer (1974) y las de observaciones microscópicas se sabe que la calcita es producto de una diagénesis tardía, por lo que es posiblemente el último cementante en esta roca reservorio.

De ahí que se asuma sea uno de los procesos diagenéticos principales en la roca reservorio Pona, reduciendo notoriamente los parámetros petrofísicos de este reservorio, sobretodo en el yacimiento Pavayacu, en el cual se encontrarían los mayores valores de cemento calcáreo y que podría ser el área de mayor concentración de cemento calcáreo en el Lote 8, al menos por las muestras estudiadas (Tabla N°06). Sin embargo se ha observado ligeras evidencias a trazas de una posterior descementación (Cap.6.3.4), principalmente en las muestras del yacimiento Corrientes, que podría generar una porosidad secundaria importante.

En cuanto a los otros minerales diagenéticos autigénicos (cuarzo secundario, cemento silíceo, chert, glauconita y pirita) no se consideran importantes pues en su mayoría se presentan con valores < 2% en algunas muestras (Cap.6.3.3.). Excepto la glauconita que es persistente en la mayoría de muestras estudiadas (Tabla N°02) y que también va a caracterizar a este reservorio. Si bien tiene un valor pico de presencia (28.4%; M-24), se observo que su mayor presencia se asocian a las muestras que contienen mas contenido de matriz arcillosa y materia orgánica (Cap.6.3.3.) contribuyendo al decremento de los parámetros petrofísicos en estas muestras, pero no se espera que su presencia en las otras muestras contribuya a un decremento notorio de la porosidad y permeabilidad en las areniscas del reservorio Pona.

Una vez determinados y analizados estos minerales diagenéticos menores, se podría decir que no existen en cantidades significativas por lo menos en los yacimientos en estudio (Pavayacu, Corrientes y Yanayacu) capaces de reducir notoriamente los parámetros petrofísicos en estas areniscas reservorio. Pero también no descartándose encontrar niveles localizados o puntuales en el reservorio Pona con altos valores de cualquiera de estos minerales diagenéticos menores.

### II. PROCESOS SECUNDARIOS:

**1. DESCEMENTACIÓN.** Este proceso diagenético secundario inverso a procesos diagenéticos primarios como: sobrecrecimiento y cementación, sería el principal proceso secundario que se presenta en las muestras del reservorio en estudio, sobretodo en los yacimientos Corrientes y Yanayacu (Cap.6.3.4.).

Este proceso diagenético tardío posiblemente ha disuelto el material cementante calcítico debido a un cambio de fluidos porales de alcalinos a ácidos en estos yacimientos, de ahí la notoria presencia de porosidad secundaria en las muestras correspondientes a estos yacimientos (Cap.6.4.).

Los otros procesos diagenéticos secundarios (disolución, lixiviación y fracturamiento) no tendrían un efecto significativo en la generación de la porosidad secundaria, pues si bien se observo una parcial disolución en algunos feldespatos en general, estos se presentan entre Tz - 6.8 % (M-13; Tabla N°02) como componentes en las muestras estudiadas, mientras que los otros procesos se observan en ligeras cantidades (< 1%) y en forma aislada, en algunas muestras correspondientes al yacimiento Corrientes (Cap.6.3.4.).

Este proceso de descementación al atribuirse como responsable principal de la ocurrencia notoria de porosidad secundaria en varias de las muestras (Cap.7.1.2.), se podría inferir una presencia regional al menos entre estos yacimientos, capaz de generar una importante porosidad secundaria a tomarse en cuenta en las areniscas del reservorio Pona.

**MATRIZ INTERSTICIAL.** Es un componente persistente en todas las muestras estudiadas de las areniscas del reservorio Pona, coexistiendo con la materia orgánica, también presente en la mayoría de las muestras, pero en menores cantidades (Tabla N°06).

Esta matriz de carácter arcillosa también coexiste con el cemento calcáreo, inclusive forma una matriz arcillo-calcáreo en el yacimiento Pavayacu (15.1%; M-06) y con la glauconita (yacimientos Corrientes y Yanayacu), ocasionando una notoria disminución de los parámetros petrofísicos en esta roca reservorio, directamente proporcionales a su contenido volumétrico, como es el caso de las muestras correspondientes al Pozo 44-XC (Cap.6.4.), independiente a su profundidad de soterramiento.

Si bien no se han efectuado pruebas especiales de reconocimiento de arcillas en el reservorio Pona, se infiere la presencia de caolinita e illita (Cap.5.3.3.), pues debido a su granulometría fina es muy difícil identificarla en las muestras estudiadas. Generalmente son producto de la descomposición de minerales silicatados de alúmina como los feldespatos y micas. Es decir de un origen detrítico, pero al afectarlas la diagénesis, también podrían ser diagenéticas (Según Wilson & Pittman, 1977).

Estas arcillas sean detríticas o diagenéticas afectarían los parámetros petrofísicos en el reservorio Pona, según sea su presencia volumétrica (Tabla N°06). Pero a su vez también es el directo responsable de la inhibición de la compactación en varias de las muestras estudiadas (Cap.6.3.1. y Cap.6.4.) y en general al efecto moderado de la compactación en la mayoría de las muestras correspondientes a este reservorio, en los yacimientos Pavayacu, Corrientes y Yanayacu.





---

## CONCLUSIONES

1. Las areniscas del reservorio Pona están constituidas principalmente por: cuarzo detrítico (siliciclástico), feldespatos (potásicos y calcósodicos), micas (muscovita y biotita), minerales accesorios (circón, piroxenos, anfíboles, etc), glauconita (alotígena y autígena), matriz arcillosa (detrítica y autigénica), cemento calcáreo (micrita, microesparita y esparita), y materia orgánica.

2. De los minerales detríticos el cuarzo es el componente principal en la roca reservorio Pona (65.5% - 95.4%), mientras que los feldespatos (Tz – 6.8%), micas (0.5% - 3.5%) y minerales accesorios (Tz – 3.3%) se presentan como componentes secundarios, dada su escasa presencia en esta roca reservorio. En cuanto a los otros componentes no granulares, estos muestran gran variabilidad tales como: glauconita (Tz – 28.4%), matriz arcillosa (0.4% – 21.9%), cemento calcáreo (Tz – 30.7%) y materia orgánica (0.5% - 12.1%). Los valores porcentuales hallados son resultados del análisis modal.

3. Los granos detríticos de cuarzo ocurrentes en la roca reservorio Pona, están caracterizados por: tamaño muy fino a medio, subangulosos a subredondeados y regular selección. Asimismo presentan en su mayoría extinción ondulante y algunas inclusiones microlíticas rectas, características que nos indicarían una fuente de aporte de rocas metamórficas y granitoides similar al Escudo Guayano Brasileiro.

4. Las areniscas del reservorio Pona, de acuerdo a las características petrográficas, son secuencias arenosas inequigranulares, inmaduras por su alto contenido de matriz y clasificadas de acuerdo a Folk, en:

- Yac. Pavayacu: Subgrauvaca, Subgrauvaca glauconítica y Grauvaca glauconítica.
- Yac. Corrientes: Subgrauvaca, Subgrauvaca glauconítica, Grauvaca glauconítica, Grauvaca, Arenisca cuarzosa y Arenisca cuarzosa glauconítica.
- Yac. Yanayacu: Subgrauvaca glauconítica y Grauvaca glauconítica.

5. Las areniscas del reservorio Pona nos sugieren un Ambiente Sedimentario de Complejo de Barras Barrera con influencias de canales de marea, pues presentan estructuras sedimentarias como: laminaciones horizontales paralelas, estructuras flaser, rizaduras de oleaje, horadaciones, nódulos calcáreos, bioturbación, materia orgánica asociada a la matriz arcillosa y la presencia persistente de la glauconita, en adición a sus características petrográficas, confirmando estudios anteriores que indican que se desarrollaron como cordones paralelos a la línea de costa de dirección NNW-SSE durante el Cretáceo.

6. Los modelos diagenéticos nos permiten explicar los diversos estadios de diagénesis que afectan a un sedimento, por lo cual se intenta incluir a estas areniscas reservorio en algunos de estos modelos, encontrándose en las siguientes etapas diagenéticas:

- Modelo de Dapples: Etapa Locomórfica
- Modelo de Fairbridge: Etapa Intermedia de Anadiagénesis
- Modelo de Schmidt V. & Mc. Donald: Etapa Madura de Mesodiagénesis.

7. Los procesos diagenéticos evidentemente han afectado a la roca reservorio Pona, sean primarios o secundarios. Entonces la identificación de estos es importante pues de alguna manera controlan los parámetros petrofísicos del reservorio, ya sea disminuyendo, preservando o incrementado la calidad del reservorio, según los tipos de procesos diagenéticos actuantes.

8. Los principales procesos diagenéticos desarrollados en la roca reservorio Pona, son:

I.-Procesos Primarios: Compactación, Autigénesis y Cementación

II. Procesos Secundarios: Descementación

Estos procesos diagenéticos estarían controlando la porosidad y permeabilidad en el reservorio Pona, conjuntamente con un factor importante: la matriz arcillosa intersticial, que presenta una persistente a notable presencia caracterizando a esta roca reservorio.

9. La Compactación, proceso físico-mecánico debido a la presión de sobrecarga reduce los parámetros petrofísicos del reservorio Pona, conforme se incrementa gradualmente con la profundidad, siguiendo el alineamiento estructural de los yacimientos Pavayacu, Corrientes y Yanayacu, con una tendencia NNW – SSE.

10. En el yacimiento Pavayacu, las areniscas del reservorio Pona presentan los efectos más bajos de compactación, evidenciado por el predominio de los tipos de contacto granulares: flotantes, tangentes y rectos, así como por los bajos valores de los parámetros de empaque, hallados en las muestras correspondientes a este yacimiento.

11. En el yacimiento Corrientes, las areniscas del reservorio Pona presentan un incremento gradual de la compactación, de acuerdo al soterramiento, evidenciado por el predominio de los tipos de contacto granulares rectos y el incremento notorio de los cóncavos-convexos en las muestras más profundas de este yacimiento. Otra evidencia de la gradual compactación es el flexionamiento de las micas y la presencia de películas carbonosas de formas estilolíticas.

12. En el yacimiento Yanayacu, las areniscas del reservorio Pona presentan también un aumento gradual de compactación, debido a que esta roca reservorio esta a profundidades mayores de 3400 metros, evidenciado por el predominio de los tipos de contacto granulares rectos, notorio aumento de los cóncavos-convexos y máximo valor de los suturados.

13. El proceso de presión – solución, que se evidenció en solo 06 muestras con valores < de 2%, no se considera como un proceso importante en esta roca reservorio y se le menciona como una evidencia más del incremento de la compactación, que afectaría regionalmente con mas intensidad hacia el Sur y Sureste del Lote 8.

14. La Autigénesis y Cementación, procesos diagenéticos primarios que también reducen los parámetros petrofísicos, se presentan notoriamente en estas areniscas reservorio, principalmente la cementación calcárea en el yacimiento Pavayacu, decreciendo en los yacimientos Corrientes y Yanayacu. De los minerales autigénicos, solo la glauconita es persistente y característica de este reservorio, mientras que el cuarzo secundario, cemento silíceo, chert y la pirita no se consideran importantes pues se presentan en algunas muestras y con valores < de 2%.

15. El principal cementante en estas areniscas reservorio es la calcita, que ocurre bajo tres hábitos: esparítico y micrítico principalmente en el yacimiento Pavayacu; microesparítico y micritico principalmente en los yacimientos Corrientes y Yanayacu. Este cemento calcítico es el producto de una diagénesis tardía, de acuerdo con las observaciones microscópicas y con la paragénesis de Woldschmidt & Füchtbauer.

16. La cementación calcítica ha reducido notoriamente los parámetros petrofísicos de este reservorio, sobretodo en el yacimiento Pavayacu, en el cual se encuentran los mayores valores de cementación calcítica y que podría ser el área de mayor concentración calcárea en el Lote 8, basándonos al menos en las muestras estudiadas.

17. La Autigénesis se manifiesta principalmente por la presencia de glauconita, que persiste en la mayoría de las muestras analizada; su reconocimiento y diferenciación de la glauconita detrítica (aloquímica) se basa en análisis de textura. La glauconita presenta diversos hábitos: granular, redondeada, ovoide, polibobada, pellas, pellets y framboidales. Si bien su mayor presencia se asocia a las muestras que contienen más contenido de matriz arcillosa y materia orgánica, contribuyendo a la disminución de los parámetros petrofísicos, no se espera que en las otras muestras contribuyan a un decremento notorio de la porosidad y permeabilidad.

18. La Autigénesis como formador de minerales diagenéticos secundarios (< 2%), excepto la glauconita, no se espera haya reducido notoriamente los parámetros petrofísicos en estas areniscas reservorio. Sin embargo no se debe descartar encontrar niveles localizados o puntuales con regulares a altos valores de cualquiera de estos

minerales diagenéticos.

19. La Descementación sería el principal proceso diagenético secundario en estas areniscas reservorio, principalmente en los yacimientos Corrientes y Yanayacu, posiblemente debido a un cambio de fluidos porales alcalinos a ácidos, disolviendo el cemento calcítico y evidenciado por la notoria presencia de porosidad secundaria en algunas muestras correspondientes a estos yacimientos.

20. Los otros procesos diagenéticos secundarios como disolución de feldespatos, lixiviación y fracturamiento, no tendrían un efecto significativo al observarse en forma aislada y en cantidades < de 2% en algunas muestras del reservorio Pona, correspondientes al yacimiento Corrientes.

21. De la discriminación de porosidades (primaria y secundaria) en las muestras de la roca reservorio Pona, aparentemente hay una notoria presencia de porosidades secundarias, que evidenciarían la presencia de procesos diagenéticos secundarios como descementación y disolución de detritos o cementos componentes. Un análisis preliminar de estas aparentes porosidades secundarias, nos indica que se encuentran relacionadas a muestras con cementación calcárea, que han sufrido posteriormente el proceso de descementación.

22. La porosidad secundaria observada en las muestras, si bien se basaron en los criterios petrográficos y se reconocieron de estos cinco criterios: disolución parcial, sobrecrecimiento, poros elongados, granos corroídos y granos en peineta (según Schmidt & Mc. Donald), que en conjunto aumentarían la porosidad total del reservorio, constituye un inicio preliminar para un estudio más completo de tipos de porosidad. Solo se intento relacionarla con los procesos diagenéticos ocurrientes en el reservorio Pona.

23. Un factor importante es la matriz arcillosa intersticial, presentándose como un componente persistente en todas las muestras del reservorio Pona, asociadas a la glauconita y materia orgánica, ocasionando una notoria disminución de los parámetros petrofísicos, sobretodo en las muestras pertenecientes al pozo 44-XC e independiente a su profundidad de soterramiento.

24. Esta matriz arcillosa intersticial, posiblemente caolinita e illita de naturaleza detrítica, al ser afectadas por la diagénesis, también podrían ser diagenéticas (Wilson & Pittman). Sean detríticas o diagenéticas, la matriz arcillosa afectarían notoriamente los parámetros petrofísicos del reservorio Pona, pero también producirían la inhibición de la compactación en varias de las muestras estudiadas. En general a esta matriz arcillosa intersticial se le atribuye el efecto moderado de la compactación en la mayoría de las muestras estudiadas de las areniscas del reservorio Pona.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda un análisis de microscopía electrónica (SEM) o difracción de rayos X (XRD), para la identificación de la matriz arcillosa intersticial presente en la roca reservorio, más aun si es un componente persistente y característico del reservorio Pona.

2. Realizar el estudio de las presiones de sobrecarga en el reservorio Pona, a través del Lote 8, para relacionarlas con los efectos de la compactación moderada, encontrados al menos en los yacimientos Pavayacu, Corrientes y Yanayacu.

3. Realizar el estudio de los valores de reflectancia de la vitrinita en las secuencias finas del Miembro Pona, para relacionarlos con los estudios petrográficos y diagenéticos, sabiendo que determina la temperatura máxima de maduración de la materia orgánica.

4. Realizar un estudio detallado de los tipos de porosidad en el reservorio Pona, para determinar con mas amplitud y veracidad, si la presencia de los procesos diagenéticos primarios o secundarios observados en esta roca reservorio, tiene carácter regional o local en el Lote 8.

5. Se recomienda complementar este estudio con nuevas muestras (secciones delgadas) de los recientes núcleos y/o muestras laterales tomados en las areniscas del reservorio Pona, que permitan con más certeza y amplitud, si los procesos diagenéticos evidenciados tienen continuidad regional, y en general hacer correlaciones que permitan establecer las mejores zonas de porosidades en el reservorio Pona. Pues este estudio es puntual y de naturaleza limitada.



---

## BIBLIOGRAFÍA

- ALABI A. OLUWATELE (July 1981): "Petrology, Provenance, and Depositional environments of the Reservoir Sandstones of Ossu-Izombe Oilfield, Imo State, Nigeria" *Journal of Sedimentary Petrology*: Vol. 51.
- ALVAREZ P. et Al (1977): "Variación de la Porosidad con la profundidad de enterramiento en las arenas del Cretáceo de la Cuenca Marañón " Informe Interno PETROPERU.
- AZALGARA L. CARLOS et. Al (Abril 1982): "Ambientes Deposicionales de las Formaciones Vivian y Chonta en el Yacimiento Yanayacu" Informe Interno PETROPERU.
- BARRIOS G. RUDOLF (1988): "Análisis Estratigráfico y Petrofísico del Reservoirio Chonta en el campo San Jacinto" Tesis de Ing. Geólogo - UNSM.
- BERRONES GERARDO (1993): "La Subsistencia - Métodos de Estudios Cuantitativos" Curso de Capacitación, ORSTOM - PETROPERU.
- BOLAÑOS Z. ROLANDO (1992): "Proyecto desarrollo adicional en el Yacimiento Pavayacu - Reservoirio Pona " Informe Interno PETROPERU.
- BURLEY S.D. KANTOROWICZ J.D. & WAUGH B. (1982): "Clastic Diagenesis" Blackwell Scientific publications & Alden Press.
- BURLEY S.D. & KANTOROWICZ J.D. (1986): "Thin Section and S.E.M. Textural criteria for the Recognition of Cement – Dissolution Porosity in Sandstones" *Sedimentology*,

Vol. 33.

- CORRALES Z., ROSELL S. et Al (1977): "Estratigrafía" Editorial Rueda, Madrid - España.
- CASSAN J., GARCIA P., FRITZ B. & TARDY (1980): "Diagenesis of Sandstones reservoirs, as show by Petrographical And Geochemical analysis of Bearing Formation in the Gabon Basin" AAPG Bull, Vol. 64.
- COSSIO PATRICIA (1992): "Estudio Diagenético de las arenas del Reservorio Vivian, Lote 1AB - Cuenca Marañón" Tesis de Ing. Geólogo – UNMSM.
- DANA E. AND FORD W. (1976): "Tratado de Mineralogía" Editorial Continental S.A., México.
- FOCHTBAUER H. (June 1974): "Some problems of Diagenesis in Sandstones" Bull. Centre Rech. Pau - SNPA.
- GALLOWAY W. W.(1948): "Hydrogeology Regimes of Sandstones Diagenesis" Bureau of Economy Geology - Texas U.
- GUIZADO J. GORGE (Julio 1977): "Estudio Sedimentológico del Núcleo Convencional del Pozo 44XC - Corrientes" Informe Interno PETROPERU.
- GUIZADO J. GORGE (Octubre 1982): "Estudio del Núcleo Convencional del Pozo 67D Pavayacu - Miembro Pona" Informe Interno PETROPERU.
- GUIZADO J. GORGE (Mayo 1984): "Yacimiento Pavayacu - Pozo 67D: Fotos de Núcleos convencionales" Informe Interno PETROPERU.
- HUANG T. WALTER (1979): "Petrología" Editorial Hispanoamericana, México.
- KERR F. PAUL (1965): "Mineralogía Optica" Mc. Graw-Hill Book Company Inc.
- LARSEN G. & CHILINGAR V. (1983): "Diagenesis in sediments an Sedimentary Rocks" Elsevier Scientific Publishing Co.
- MERINO ENRIQUE (1975): "Diagenesis in Tertiary sandstones from Kettleman North Dome, California Diagenetic Mineralogy" Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 45.
- MINGARRO M. F. & ORDOÑEZ D. (1982): "Petrología Exógena" Editorial Rueda, Madrid - España
- PACHECO JESUS (Junio 1981): "Técnicas para la Toma y Análisis de Núcleos" Trabajo de ARPEL - Lagoven S.A.
- PAZ H. MEDARDO (1982): "Litofacies y Ambientes Sedimentarios reconocidos en Núcleos convencionales del Pozo 12XC" Informe Interno PETROPERU.
- PARDO A. A. & SALAS A. G. (1984): "Evaluación Geológica del Lote 8" Informe Interno PETROPERU.
- PEREYRA ORLANDO (1968): "Influence of depth on Physical Properties of Sandstone" Tesis de Master en Ing. de Petróleo.
- PETTIJOHN F.J. (1963): "Rocas Sedimentarias" Harper and Brother, New York - USA..
- PETTIJOHN F.J., POTTER P.E. & SIEVER R. (1973): "Sand and Sandstone" Springer - Verlag, USA.
- PITTMAN D. EDWARD (March 1979): "Porosity, Diagenesis and Productive capability of Sandstone Reservoir" SEPM Special Publication N° 26.

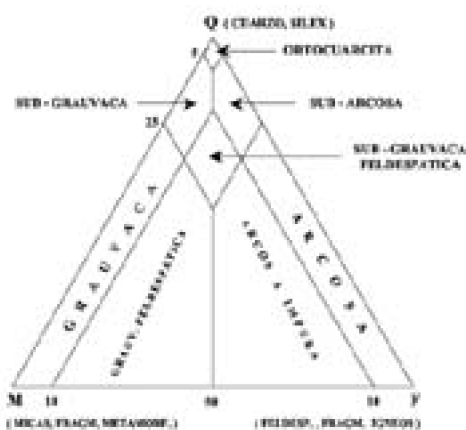
- 
- SALAS A. GERMAN et Al(Nov. 1992): "Proyecto Incremento de la Producción Yacimiento Corrientes - Reservorio Pona" Informe Interno PETROPERU.
- SARKAR S. (March 1988): "Petrology of Caliche - Derived Peloidal Calcidurite / calcarenite in the late triassic Maleri formation of the Pramhita-Godovai Valley, South India" Sedimentology, Vol. 58.
- SCHMIDT V. & MC DONALD D.A. (1983): "Secondary Reservoir Porosity in the Course of Sandstone Diagenesis" AAPG – PETROCANADA.
- SIEVER RAYMOND (March 1979): "Plate-Tectonic controls on Diagenesis" The Journal of Geology. Vol. 87.
- SUJKOWSKI SB.L. (November 1958): "Diagenesis" AAPG Bull, Vol. 42.
- TUMIALAN DE LA C. PEDRO (Octubre 1988): "Curso Básico de Petrografía" Curso de Capacitación PETROPERU.
- VOLKMAR S. & MC DONALD A.D. (March 1979): "The role of Secondary Porosity in the course of Sandstone Diagenesis" SEMP Special Publication N° 26.
- WILLIAM H., TURNER F. & GILBERT CH. (1968): "Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections" WH Freeman Co., San Francisco - USA.
- WILSON D. M. & PITTMAN D.E. (1977): "Authigenic clays in Sandstones: Recognition and influence on reservoir properties and paleoenvironmental analysis" Journal of Sedimentary Petrology: Vol. 47.



# ANEXOS

## Anexo N° 01

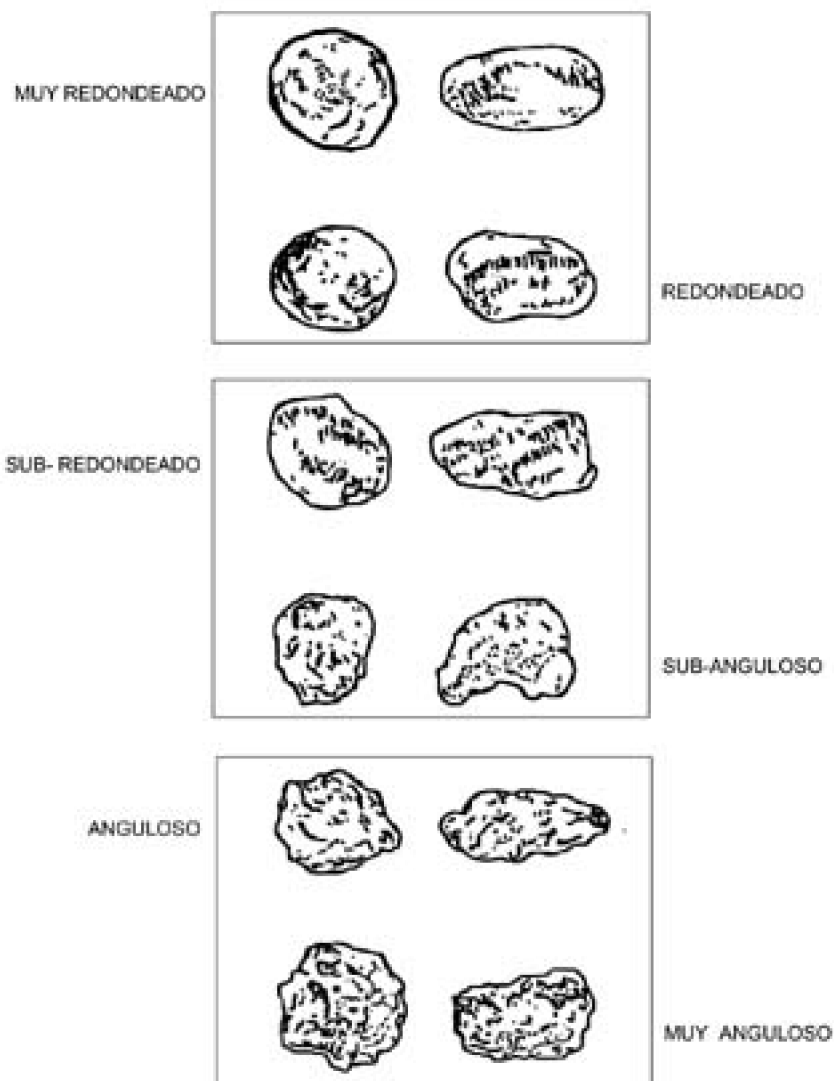
### DIAGRAMA TERNARIO DE COMPONENTES MINERALÓGICOS Y FRAGMENTALES



Basado en: R Folk (1965)

## Anexo N° 02

### ESTIMACIÓN VISUAL PARA CLASES DE ESFERICIDAD Y REDONDEZ

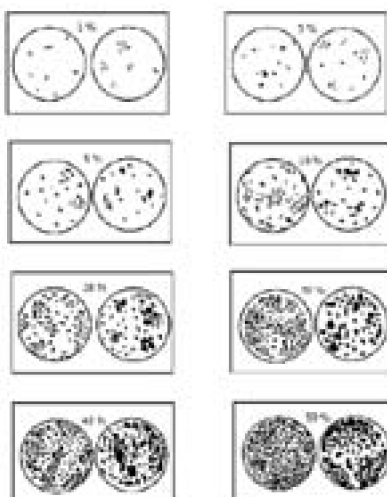


Basado en: Powers (1953) & Pettijhon (1973).

## Anexo N° 03

### ESTIMACIÓN DE PORCENTAJES PARA EL MÉTODO DE ANÁLISIS VISUAL





### MICROFOTOGRAFÍAS

#### SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE 18 MICROFOTOGRAFÍAS DE LAS ARENISCAS DEL RESERVORIO PONA

##### FOTO N° 01

MUESTRA: M-01

YACIMIENTO: PAVAYACU

PROFUNDIDAD: 2883.22m

POZO: 67-D

NICOLES CRUZADOS (60.3X): Arenisca de regular a mala selección, granos de cuarzo subredondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.36 (muy fino - medio), con predominio de los contactos rectos (38.2%; 2C, 4B, 5H) y tangentes (29.7%; 1F, 2A, 9K). Obsérvese la notoria presencia de la cementación calcárea (25.7%), principalmente micritas relleno de los espacios intersticiales; una evidencia de remplazamiento calcáreo a partir de un fragmento orgánico (6F) y glauconitas microcristalinas (4L, 5L, 7B).

##### FOTO N° 02

MUESTRA: M-02

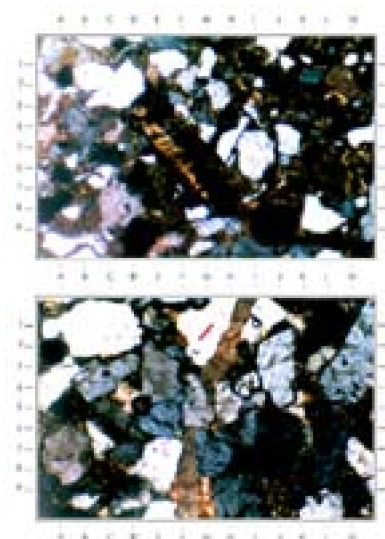
YACIMIENTO: PAVAYACU

PROFUNDIDAD: 2888.40m

POZO: 67-D

NICOLES CRUZADOS (100X): Arenisca de regular selección, granos de cuarzo subredondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.09 – 0.27 (muy fino - medio), con predominio de los contactos rectos (40.6%; 4A, 6E) y tangentes (26.8%; 6B, 7C, 7H). Los granos de cuarzo principalmente monocristalinos (87.6%) presentan extinción recta (1C, 7L, 7J, 8E) y ondulante (4C, 4E, 7G). Obsérvese la microesparita fibrosa (zona central) y la micrita como hábitos de la cementación calcárea (8.6%), coexistiendo con las arcillas (7.4%), formando matriz calcárea (8C, 9J). También se observa una ocasional inclusión

microlítica recta (2G).



Fotos N° 01 y N° 02

**FOTO N° 03**

MUESTRA: M-05

YACIMIENTO: PAVAYACU

PROFUNDIDAD: 2809.50m

POZO: 67-D

NICOLES CRUZADOS (60.3X): Arenisca de regular a mala selección, granos de cuarzo subredondeados a angulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.40 (muy fino - medio), con predominio de los contactos flotantes (45.1%; 1B, 4E, 5B) y tangentes (27.5%; 2C, 2.5L, 6L). Obsérvese la notoria presencia de la cementación calcárea (30.7%), bajo sus tres hábitos: micrítica (parcialmente glauconítica; 5M, 1I), microesparítica (5C, 8H) y esparítica (1J, 8C).

Esta muestra presenta una pobre porosidad (4.8%).

**FOTO N° 04**

MUESTRA: M-06

YACIMIENTO: PAVAYACU

PROFUNDIDAD: 2825.00m

POZO: 79-D

NICOLES CRUZADOS (100X): Arenisca de regular a mala selección, granos de cuarzo subredondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.33 (muy fino - medio), con predominio de los contactos tangentes (30.6%; 4A, 5J, 7G) y rectos (27.2%; 1G, 3A, 9H). Obsérvese los granos de cuarzo de superficie irregular con microfracturas (2G, 8M, 9J). Presencia de chert (8C), microesparita (5E, 9D), glauconita microcristalina (4F, 7K) y una ocasional inclusión microlítica recta (6M).



Fotos N° 03 y N° 04

#### **FOTO N° 05**

MUESTRA: M-06

YACIMIENTO: PAVAYACU

PROFUNDIDAD: 2825.00m

POZO: 79-D

NICOLES CRUZADOS (250X): Muestra de características texturales similares a la anterior (FOTO N°04). Magnificada (250X), para observar el reconocimiento de uno de los criterios petrográficos de porosidad secundaria: Granos en “peineta” (6F; Fig. N°16). También obsérvese la lixiviación de algunos granos de cuarzo (3C, 2H, 4J, 4H, 6L, 9C) así como un microfracturamiento en uno de ellos (1H).

#### **FOTO N° 06**

MUESTRA: M-09

YACIMIENTO: CORRIENTES

PROFUNDIDAD: 2871.00m

POZO: 12-XC

NICOLES CRUZADOS (100X): Arenisca de regular selección, granos de cuarzo subredondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.24 (muy fino - fino), con predominio de los contactos rectos (45.2%; 1K, 2G, 3H, 5G), tangentes (33.5%; 4I, 6I, 8C) y cóncavos-convexos (9.7%; 2K, 3L, 8A). Obsérvese algunos granos de cuarzo policristalinos (4.8%; 2F, 7D, 7E) con extinción ondulante y uniones sinuosas, también se aprecian granos de cuarzo lixiviados por ambientes básicos (2A, 3G, 7B, 8K). Los intersticios están rellenos por matriz arcillosa (9.5%; 4A, 6C, 8C), esporádico cemento calcáreo (0.8%; 8A) y por glauconitas en formación (2B,7H,8K).



Fotos N° 05 y N°06

**FOTO N° 07**

MUESTRA: M-10

YACIMIENTO: CORRIENTES

PROFUNDIDAD: 2885.50m

POZO: 12-XC

NICOLES CRUZADOS (60.3X): Arenisca de regular selección, granos de cuarzo subredondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.38 (muy fino - medio), con predominio de los contactos rectos (39.2%; 2F, 3H, 9F), tangentes (29.4%; 5G, 7M, 9D) y flotantes (16.5%; 1J, 2A, 3J). Obsérvese el flexionamiento de la muscovita (5H) entre los granos; la disolución de feldespatos (1C, 3M) y la lixiviación de algunos granos de cuarzo (1F, 1K, 7L, 9L). Los intersticios están ocupados por matriz arcillosa pardusca (12.1%; 5M, 8G, 9M), escaso cemento calcáreo (2.1%; 3A, 8A) y por incipiente glauconita (1H, 5L).

Esta muestra presenta regular a buena porosidad (15%).

**FOTO N° 08**

MUESTRA: M-12

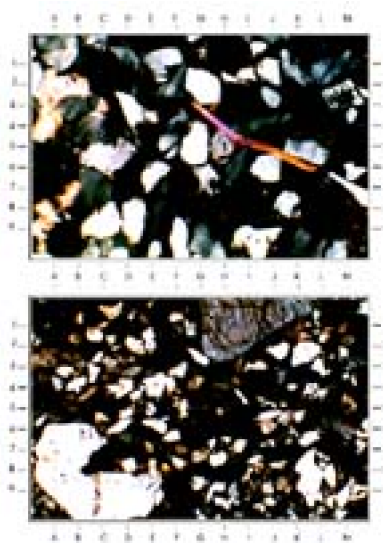
YACIMIENTO: CORRIENTES

PROFUNDIDAD: 2861.00m

POZO: 44 - XC

NICOLES CRUZADOS (40X): Arenisca de regular a buena selección, granos de cuarzo redondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.07 – 0.45 (muy fino - medio), con predominio de los contactos tangentes (39.4%; 1F, 3C), rectos (28.5%; 4F, 5J, 9L) y flotantes (24.2%; 2C, 4K). Obsérvese los gránulos de cuarzo microfracturados (1I) y lixivados (8B) evidenciados por cavidades o entrantes corrosivas (8C). Presencia del circón (1K), evidenciado por su relieve notable, alta birrefringencia y extinción paralela.

Los intersticios están ocupados por la matriz arcillosa (12.2%; 8E, 8K) e incipiente glauconita (1.9%, 9K).



Fotos N° 07 y N° 08

#### FOTO N° 09

MUESTRA: M-14

YACIMIENTO: CORRIENTES

PROFUNDIDAD: 2875.40m

POZO: 44-XC

NICOLES CRUZADOS (100X): Arenisca de regular selección, granos de cuarzo redondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.30 (muy fino - medio), con predominio de los contactos tangentes (42.0%; 1H, 5E, 9L), flotantes (28.3%; 3C, 6F, 7L) y rectos (22.4%; 8J). Obsérvese la extinción ondulante de los granos de cuarzo (2F, 3M, 5B, 9D) con algunos sobrecrecimientos de cuarzo secundario (1K, 3F, 7J). Feldespatos detríticos corroídos (6H, 6K, 8H). La cementación calcárea de hábito microesparítico (4H, 7I) a corroído granos de cuarzo (3H, 8K, 9E, 9G). Conjuntamente con la matriz arcillosa (4.7%) y la glauconita microcristalina (1.2%; 1D, 5M, 6G) están rellenando los intersticios.

#### FOTO N° 10

MUESTRA: M-17

YACIMIENTO: CORRIENTES

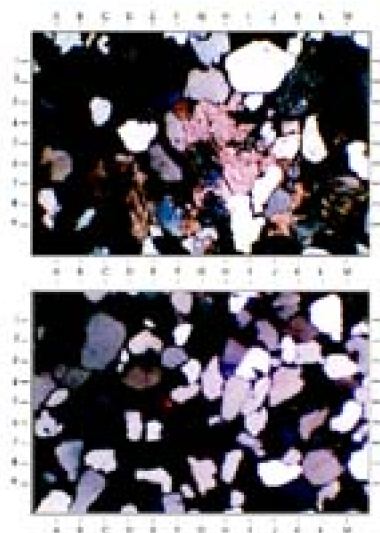
PROFUNDIDAD: 2895.80m

POZO: 44-XC

NICOLES CRUZADOS (40X): Arenisca de regular selección, granos de cuarzo subredondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.65 (muy fino - grueso), con predominio de los contactos tangentes (38.1%; 4G, 7D, 9B), rectos (30.3%; 3H, 8I, 9K), flotantes (19.2%; 2E, 4E) y en menor grado los cóncavos-convexos (9.5%; 5I, 8K). Obsérvese algunos granos de cuarzo con sobrecrecimiento secundario (1L, 5A, 8M),

granos corroídos (3I, 7I, 6A) con escasa presencia de cementación calcárea (6E, 6G). La matriz arcillosa (8.8%; 6L, 7I) se encuentran rellenando los intersticios, trazas de glauconita (4L, 9M).

Esta muestra presenta buena porosidad (16.5%).



*Fotos N° 09 y N° 10*

**FOTO N° 11**

MUESTRA: M-20

YACIMIENTO: CORRIENTES

PROFUNDIDAD: 3035.50m

POZO: 116-D

NICOLES CRUZADOS (100X): Arenisca de regular selección, granos de cuarzo subredondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.09 – 0.45 (muy fino - medio), con predominio de los contactos rectos (36.2%; 2A, 4L), tangentes (25.2%; 1G, 2H) y cóncavos convexos (20.5%; 3M, 7J). Obsérvese los granos de cuarzo en contacto crenulado (5H, 6I); sobrecrecimientos de cuarzo secundario (4L, 9L), granos corroídos por ambientes básicos (4E, 4G) y disolución de feldespatos (microclina; 1K, 5K). La cementación calcárea (2.8%; 7E) y la matriz arcillosa (3.3%) rellenan los intersticios.

**FOTO N° 12**

MUESTRA: M-21

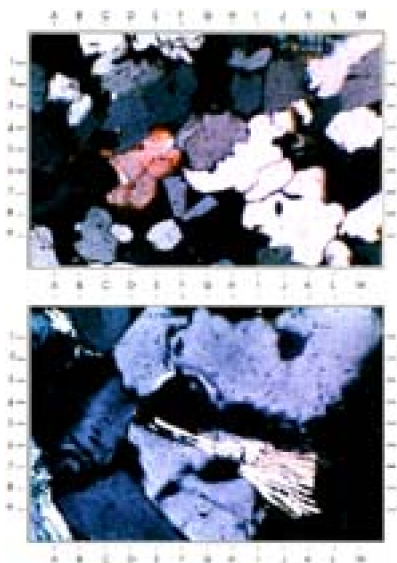
YACIMIENTO: CORRIENTES

PROFUNDIDAD: 3046.50m

POZO: 116-D

NICOLES CRUZADOS (250X): Muestra de similar características texturales que la anterior (M-20; FOTO 11). Magnificada (250X) para observar la formación de glauconita autógena a partir del remplazamiento de las micas (biotita; 7I). Obsérvese también los contactos: cóncavos-convexos (2F), zctos (1B, 9E) y tangentes (5D). Nótese los bordes

corroídos de los granos de cuarzo (1J, 3F, 7G).



Fotos N° 11 y N° 12

### FOTO N° 13

MUESTRA: M-22

YACIMIENTO: CORRIENTES

PROFUNDIDAD: 3057.20m

POZO: 116-D

NICOLES CRUZADOS (250X): Muestra de similar características texturales que la anterior (M-21; FOTO 12). Magnificada (250X) para observar la cementación calcárea (5G, 8G) y posterior descementación (2C, 6L, 8K) a partir de los bordes corroídos de los granos de cuarzo (6M, 8L) que generaría una porosidad secundaria como consecuencia de este proceso diagenético.

### FOTO N° 14

MUESTRA: M-24

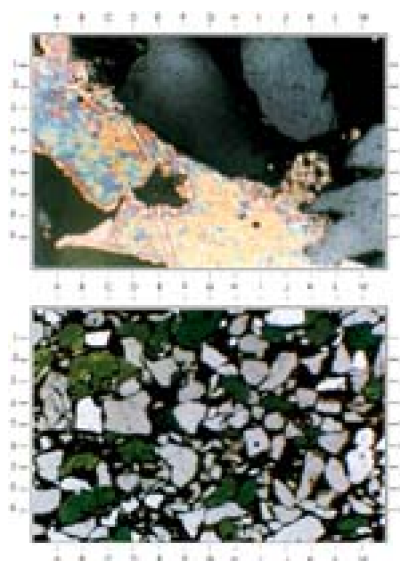
YACIMIENTO: YANAYACU

PROFUNDIDAD: 3415.10m

POZO: 32-X

NICOLES CRUZADOS (40X): Arenisca de mala selección, granos de cuarzo subredondeados a angulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.65 (muy fino - grueso), con predominio de los contactos flotantes (63.5%; 1C, 1H), tangentes (19.3%; 3I, 6I) y rectos (12.5%; 2H, 9G). Obsérvese la gran cantidad de glauconitas (28.4%) de colores verde oliva (1G, 5E) a verde césped (1B, 3C), principalmente de hábito detrítico granular (3C, 7B) y formas polibobadas (1B, 6D, 8C). Junto con la matriz arcillosa (21.9%; 2B, 3G, 4E, 7J) rellenan los espacios intersticiales.

Esta muestra presenta pobre porosidad (6.1%).



Fotos N° 13 y N° 14

**FOTO N° 15**

MUESTRA: M-25

YACIMIENTO: YANAYACU

PROFUNDIDAD: 3516.00m

POZO: 27-X

NICOLES PARALELOS (100X): Arenisca de regular a mala selección, granos de cuarzo subredondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.92 (muy fino - grueso), con predominio de los contactos rectos (49.7%; 3G, 9I), cóncavos-convexos (20.7%; 4E, 9J) y tangentes (14.9%; 2F, 7I). Obsérvese los granos de cuarzo con sobrecrecimiento (2D, 3E, 6C, 6H) en continuidad cristalográfica y óptica con el núcleo detrítico (3I, 4C). La matriz arcillosa (8.2%; 4M, 6E), la materia orgánica (8.2%; 7H, 8D) y una ligera cementación silíceo (2B, 2E, 7G) rellena los espacios intersticiales.

**FOTO N° 16**

MUESTRA: M-26

YACIMIENTO: YANAYACU

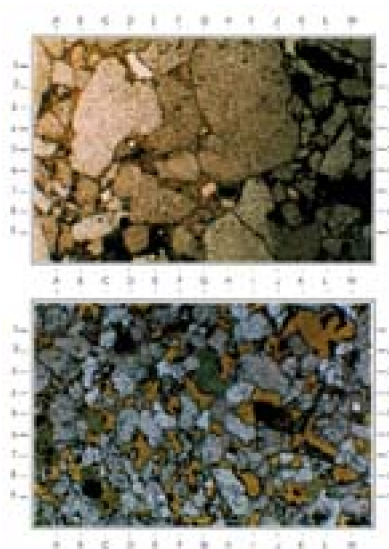
PROFUNDIDAD: 3519.50m

POZO: 27-X

NICOLES PARALELOS (40X): Arenisca de buena regular selección, granos de cuarzo subredondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.42 (muy fino - medio), con predominio de los contactos rectos (57.5%; 1B, 7M), tangentes (16.5%; 2K, 4B) y cóncavos-convexos (16.2%; 3A, 5D). Obsérvese la glauconita bajo hábito detrítico (14.7%; 5C, 6A, 8C), ocasionales moldes de pirita (5J, 9C) asociadas a la matriz arcillosa (3.1%; 1F, 6J), que están relleno parcialmente los espacios intersticiales. Nótese los sobrecrecimientos porales (1L, 7E, 9I).

Esta muestra presenta buena porosidad (17.5%).





Fotos N° 15 y N° 16

**FOTO N° 17**

MUESTRA: M-28

YACIMIENTO: YANAYACU

PROFUNDIDAD: 3524.80m

POZO: 27-X

NICOLES CRUZADOS (100X): Arenisca de buena a regular selección, granos de cuarzo redondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.35 (muy fino - medio), con predominio de los contactos rectos (44.1%; 7D), tangentes (25.2%; 8B, 9G) y flotantes (19.1%; 3E, 3G, 7F). Obsérvese la presencia de glauconitas principalmente autógenas (1C, 5D), formando envolturas o cubiertas sobre los granos detríticos, coexistiendo con la matriz arcillosa (11.7%) que se encuentra dispersa a lo largo de los intersticios.

**FOTO N° 18**

MUESTRA: M-30

YACIMIENTO: YANAYACU

PROFUNDIDAD: 3532.33m

POZO: 27-X

NICOLES CRUZADOS (40X): Arenisca de regular selección, granos de cuarzo subredondeados a subangulosos, presenta tamaños: 0.06 – 0.50 (muy fino - medio), con predominio de los contactos rectos (43.1%; 3H, 7D), tangentes (20.1%; 5B, 5K) y flotantes (23.9%; 4E, 9F) Obsérvese los diferentes hábitos de la glauconita (12.4%) como: granular (7H, 8D, 9B, 9H), redondeada (1I, 6L, 9E), pellas (3C) y framboidales (4E, 5F). La matriz arcillosa (11.9%) es persistente rellenando los intersticios, caracterizando a esta muestra y en general a toda la roca reservorio (0.4% - 21.9%).



Fotos N° 17 y N° 18