

**HISTORIA DEPOSITACIONAL Y DISTRIBUCIÓN DEL MIEMBRO CRETÁCICO  
K1C INFERIOR Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE  
HIDROCARBUROS EN EL AREA CRAVO NORTE, DPTO. DE ARAUCA,  
CUENCA LLANOS ORIENTALES**

**DANIEL HERNANDO ROJAS TÉLLEZ COD. 1973435**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
ABRIL DE 2004**

**HISTORIA DEPOSITACIONAL Y DISTRIBUCIÓN DEL MIEMBRO CRETÁCICO  
K1C INFERIOR Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE  
HIDROCARBUROS EN EL AREA CRAVO NORTE, DPTO. DE ARAUCA,  
CUENCA LLANOS ORIENTALES**

**DIRECTOR  
GEÓLOGO RICARDO MIER UMAÑA  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**CO-DIRECTOR  
GEÓLOGO JOSEPH DEDOMINIC  
OCCIDENTAL DE COLOMBIA, INC.**

**CO-DIRECTOR  
GEÓLOGO SPENCE GUSTAV  
OCCIDENTAL DE COLOMBIA, INC.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGIA  
ABRIL DE 2004**

*A mis padres: Martha y Hernando  
A mis hermanos: Adriana y Darío  
.....Mi Familia.*

*Al Ser Superior, quien tal vez no controla la existencia  
como un ser omnipotente, sino como un guía.  
Después de tanto titubear, opté por reconocerlo.*

## AGRADECIMIENTOS

A Ana Milena y sus Padres, quienes fueron mi familia en Bucaramanga.

A la Universidad y a la Escuela de Geología, por la formación académica, y a mis amigos y compañeros de carrera, por la formación como Ser Humano.

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas de Occidental que me apoyaron en la realización de este proyecto, en especial:

- ✓ A Spence y a Joe, por compartir su experiencia y ceder buena parte de su escaso tiempo, para la dirección de la tesis.
- ✓ A David, Paola, Diego, y a Sandra, por sus consejos y apoyo constante, pero sobre todo, por su amistad.
- ✓ A Anita, Dave, Paul, Natalia, Liliana, Eduardo, Carlos, y Aura, quienes prácticamente me "adoptaron" en el Departamento de Exploración, durante todos estos meses.
- ✓ A Maria Luisa, José Horacio, Alexander, Keith, Ingvar, Claudia, Helbert, Mauricio, Alfonso.....y en fin, a toda la gente de Geología de Desarrollo e Ingeniería que contribuyó mucho a la parte logística del proyecto, y me hizo sentir como parte de la familia de Occidental.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>12</b>
<b>1. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>2. GENERALIDADES .....</b>	<b>15</b>
2.1. LOCALIZACIÓN .....	15
2.2. JUSTIFICACIÓN.....	16
2.3. METODOLOGÍA.....	17
<b>3. MARCO GEOLOGICO REGIONAL .....</b>	<b>19</b>
3.1. ANTECEDENTES.....	19
3.2. ESTRATIGRAFIA .....	19
3.2.1. Secuencia Pre-Cretácica .....	20
3.2.2. Secuencia Cretácica.....	21
3.2.3. Secuencia Terciaria-Cuaternaria .....	27
3.3. ESTRUCTURAS.....	29
3.3.1. Fallas .....	29
3.3.2. Pliegues.....	31
3.4. EVOLUCION TECTONICA DEL SECTOR DE ARAUCA, EN EL MARCO DE LA CUENCA LLANOS ORIENTALES .....	33
3.4.1. Pre-Cretácico.....	33
3.4.2. Cretácico.....	33
3.4.3. Terciario-Cuaternario.....	36
<b>4. DESCRIPCION LITOLOGICA DE LOS NUCLEOS DE PERFORACION.....</b>	<b>38</b>
4.1. DEFINICIONES Y NOMENCLATURAS .....	38
4.1.1. Textura .....	38
4.1.2. Composición.....	40
4.1.3. Estructuras.....	41
• Estructuras Sedimentarias Primarias.....	41
• Estructuras Sedimentarias Secundarias.....	44
4.1.4. Grado de Impregnación de aceite.....	46
4.2. DESCRIPCION LITOLOGICA .....	47
4.2.1. Pozo A .....	48

4.2.2. Pozo B .....	52
4.2.3. Pozo C .....	54
4.2.4. Pozo D .....	57
<b>5. DESCRIPCION PETROGRAFICA .....</b>	<b>59</b>
5.1. TEXTURA Y COMPOSICION.....	59
5.2. DESCRIPCIONES .....	60
5.2.1. Pozo A .....	61
5.2.2. Pozo B .....	69
5.2.3. Pozo C .....	71
5.2.4. Pozo D .....	75
<b>6. AMARRE DE CORAZONES A REGISTROS ELECTRICOS .....</b>	<b>76</b>
<b>7. HISTORIA DIAGENETICA.....</b>	<b>84</b>
7.1 PROCESOS DIAGENETICOS .....	84
7.2 HISTORIA DE ENTERRAMIENTO.....	87
<b>8. IDENTIFICACION DE FACIES Y ASOCIACIONES DE FACIES .....</b>	<b>89</b>
8.1. FACIES F1: SHALES LAMINADOS .....	89
8.2. ASOCIACION DE FACIES A2: INTERLAMINACIONES ENTRE SHALES Y ARENISCAS BIOTURBADAS. ....	91
8.3. ASOCIACION DE FACIES A3: ARENISCAS BIOTURBADAS.....	92
8.4. ASOCIACION DE FACIES A4: ARENISCAS CONGLOMERATICAS .....	93
<b>9. HISTORIA Y AMBIENTE DE DEPOSITACION .....</b>	<b>94</b>
9.1 SUBUNIDADES DEL MIEMBRO K1C .....	94
9.2 MORFOLOGIA DE LAS SUBUNIDADES E INTERPRETACION PALEOAMBIENTAL DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES.....	96
9.3 HISTORIA DEPOSITACIONAL DEL MIEMBRO CRETACICO K1C .....	109
<b>10. IMPLICACIONES DEL AMBIENTE DE DEPOSITACION, EN LA PRODUCCION DE HIDROCARBUROS.....</b>	<b>112</b>
10.1 DISTRIBUCION DE LOS RESERVORIOS DEL K1C.....	112
10.2 PRODUCCION DE HIDROCARBUROS EN EL MIEMBRO K1C .....	125
<b>11. CONCLUSIONES.....</b>	<b>127</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>130</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>134</b>

**TITULO: HISTORIA DEPOSITACIONAL Y DISTRIBUCIÓN DEL MIEMBRO CRETÁCICO K1C INFERIOR, Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS EN EL AREA CRAVO NORTE, DPTO. DE ARAUCA, CUENCA LLANOS ORIENTALES\***

**AUTOR:** Daniel Hernando Rojas Téllez\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Historia Depositacional, Cretácico, Hidrocarburos, Cuenca Llanos, Caño Limón.

**DESCRIPCION:** El Miembro Cretácico K1C Inferior (K1C-Inf), una de las subunidades operacionales del Campo Caño Limón (Asoc. Cravo Norte, Depto. de Arauca), se depositó en un **mar somero** que se profundizaba hacia el NW y que probablemente recibía el aporte de canales mareales desde el SE, lo cual influye en la distribución actual de sus reservorios. Este trabajo forma parte de la actualización del modelo geológico de Cravo Norte de Occidental de Colombia. El objetivo es determinar la naturaleza sedimentológica y distribución espacial de los reservorios del K1C-Inf, y las implicaciones en su producción de hidrocarburos. Se parte de la literatura geológica existente de Cravo Norte y se confronta con la información obtenida de las perforaciones.

Se identificaron cuatro asociaciones de facies: 1-Shales Laminados de la **Plataforma Interior**; 2-Interlaminaciones bioturbadas de arena-shale de la **Zona de Transición**; 3-Arenas bioturbadas en contacto con el **Nivel Base de Olas**; y 4-Arenas conglomeráticas, posiblemente depósitos basales de **Canales Mareales**. Estas están relacionadas con oscilaciones del nivel base estratigráfico, a partir de las cuales se definieron ocho subunidades: K1C1A-K1C1B-K1C1C-K1C1D-K1C2A, K1C2B-K1C2C y K1C2D. La **Facies Reservorio** consiste en las arenas

---

\* Modalidad: Práctica Empresarial

\*\* Facultad de ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Directores: Ricardo Mier Umaña.

depositadas sobre el Nivel Base de Olas, horizontalmente continuas, con zonas más potentes de 1-4 km<sup>2</sup> de extensión orientadas hacia el NW y espesores de 1-15ft en la mayor parte del campo. Su **producción acumulada** (1984-2003) de cerca de 80 MMBO, se limita al NE del Campo y a las subunidades K1C1B y K1C1C, posiblemente debido a su mayor porcentaje de Facies Reservorio.

Los resultados de este proyecto son la base para la planeación de nuevos pozos de desarrollo, con los cuales se persigue incrementar o mantener la producción en el campo, sosteniendo las cuantías que por concepto de regalías, reciben el Departamento de Arauca y la Nación, para inversión social.

**TITLE: DEPOSITIONAL HISTORY AND DISTRIBUTION OF LOWER K1C  
CRETACEOUS MEMBER, AND ITS RELATIONSHIP TO HYDROCARBON  
PRODUCTION FOR CRAVO NORTE AREA, LLANOS BASIN, COLOMBIA,  
SOUTHAMERICA\***

**AUTHOR:** Daniel Hernando Rojas Téllez\*\*

**KEY WORDS: Depositional History, Hydrocarbon, Colombia, Llanos Basin,  
Caño Limón.**

The Lower K1C Cretaceous Member (LK1C), one of the operational subunits of Caño Limón Field in Colombia (NW South-America), was deposited on a shallow sea (deeper towards NW) that probably received dispersed load from tidal channels from SE, which affects present-day reservoir distribution. This project is part of a geological model updating process led by Occidental de Colombia Inc. The main objective is to determine the LK1C sandstone reservoir character, spatial distribution and their implications on its hydrocarbon production. Basically, the methodology consists in reinterpreting the preexisting knowledge about Cravo Norte area, with new wells data.

Four facies associations were identified and linked to a particular subenvironment, as follows: 1-**Inner Shelf** laminated shales; 2-**Transition Zone**, bioturbated interlaminated sand and shale; 3-**Wave Base** bioturbated sands; and 4-Possibly **Tidal Channels** basal deposits, represented by conglomeratic sands. These subenvironments are related to stratigraphic base level, and led to the setting of eight subunits: K1C1A-K1C1B-K1C1C-K1C1D-K1C2A-K1C2B-K1C2C and K1C2D. Sandstones deposited over wave base, are the LK1C **Reservoir Facies**. These

---

\* Student Trainee Project.

\*\* Engineering Faculty, Department of Geology. Directors: Joseph DeDominic (Oxy), Spence Gustav (Oxy), and Ricardo Mier Umaña (UIS).

are laterally continuous, with NW elongated pod zones that extend 1-4km<sup>2</sup>. Vertically, they are bounded by shales and interlaminated sand-shale, and reach 1-5 ft thick over almost all the field, while become locally thicker at pod zones (5-15ft). The LK1C **cumulative oil production** (1984-2003) is approximately 80 MMBO, which is nearly 8% of Cravo Norte cumulative production. This comes exclusively from the NE zone of the area, and concentrates in subunits K1C1B and K1C1C, probably because they content the highest percentage of Reservoir Facies.

The obtained results are the first step in new development wells, which are planned whether to keep or to increase oil production in the field. Taking into account that oil production is very important to Colombia's economy, the oil fields development aids government in getting funds to invest in social works.

## INTRODUCCION

En un campo petrolífero, el conocimiento de las condiciones en las que se formaron las rocas que lo conforman, es de vital importancia. Estas controlan su geometría y distribución y propiedades como reservorio, permitiendo llegar al objetivo final: el cálculo de reservas y su factor de recobro, los cuales junto con factores económicos, definen la comercialidad del área.

En un ambiente de depositación sedimentario, se debe tener en cuenta tanto la historia depositacional, como la postdepositacional. Por ejemplo, un ambiente fluvial trenzado puede dar origen a cuerpos arenosos extensos con altas porosidades primarias, pero si durante la diagenesis ha sufrido una cementación intensa, los reservorios pueden llegar a ser mucho más reducidos e incluso nulos. Desde luego, en la historia postdepositacional también debe considerarse la evolución estructural, que puede llegar a alterar la geometría y propiedades petrofísicas originales de los reservorios.

El Campo Caño Limón, descubierto en 1983 en la cuenca Llanos Orientales, posee reservorios en una secuencia que va de depósitos marinos someros (Cretácicos) a deltáico-fluviales (Terciarios), relativamente poco afectados tectónica y diagenéticamente. Estos han sido caracterizados a nivel de Formación, asumiendo cualidades paleoambientales y petrofísicas para dichas unidades, pero se han descubierto variaciones internas que ameritan una caracterización menos generalizada. Con este fin, Occidental de Colombia, Inc. está adelantando estudios detallados en las unidades estratigráficas preestablecidas, para actualizar el modelo geológico del campo.

Como parte de esta campaña de actualización, este proyecto pretende determinar la naturaleza sedimentológica y distribución espacial de los reservorios de una

subunidad de la formación Cretácica K1 Inferior: el Miembro K1C. A partir de estas características, se analizarán las implicaciones que tendrían sobre su producción de aceite, como base para estudios posteriores que se concentren en sus propiedades petrofísicas y en el potencial de albergar nuevos pozos de desarrollo.

El informe consiste principalmente en tres partes. En la primera, se lleva a cabo la descripción litológica y petrográfica de los corazones de cuatro pozos que alcanzaron al Miembro K1C, y el amarre con sus respectivos registros eléctricos. En la segunda, se identifican las Facies depositacionales y se determina su extensión geográfica, para definir subunidades que son cartografiadas y comparadas con ambientes de depositación actuales, con el fin de reconstruir la historia depositacional de la unidad. Finalmente, en la tercera parte, se analizan las subunidades definidas desde el punto de vista de su porosidad efectiva y volumen de arcillas, para identificar a la Facies Reservorio del K1C, cartografiarla y descubrir qué repercusiones tiene sobre su producción de aceite en Cravo Norte.

Por motivos de confidencialidad de la Compañía, se omiten datos como el nombre real de los pozos y los valores petrofísicos oficiales, lo cual no afecta los objetivos del proyecto. Tanto las interpretaciones como las conclusiones que aparecen aquí consignadas, aunque supervisadas y orientadas por personal idóneo de Occidental, fueron realizadas por el autor.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la naturaleza sedimentológica, y distribución espacial de las arenas reservorio de la subunidad operacional Cretácica “Lower K1C”, para el área de Cravo Norte, como herramienta inicial para la eventual programación de nuevos pozos productores de desarrollo.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

En el Miembro Cretácico Lower K1C, en el área de Cravo Norte, se planea:

- Reconstruir el ambiente de depositación y elaborar el mapa paleogeográfico a escala 1:20000, y la columna estratigráfica representativa a escala 1:200.
- Determinar la distribución espacial y espesores de los cuerpos de areniscas.
- Identificar las implicaciones del ambiente de depositación y la distribución espacial de los cuerpos de areniscas, en la producción de hidrocarburos.

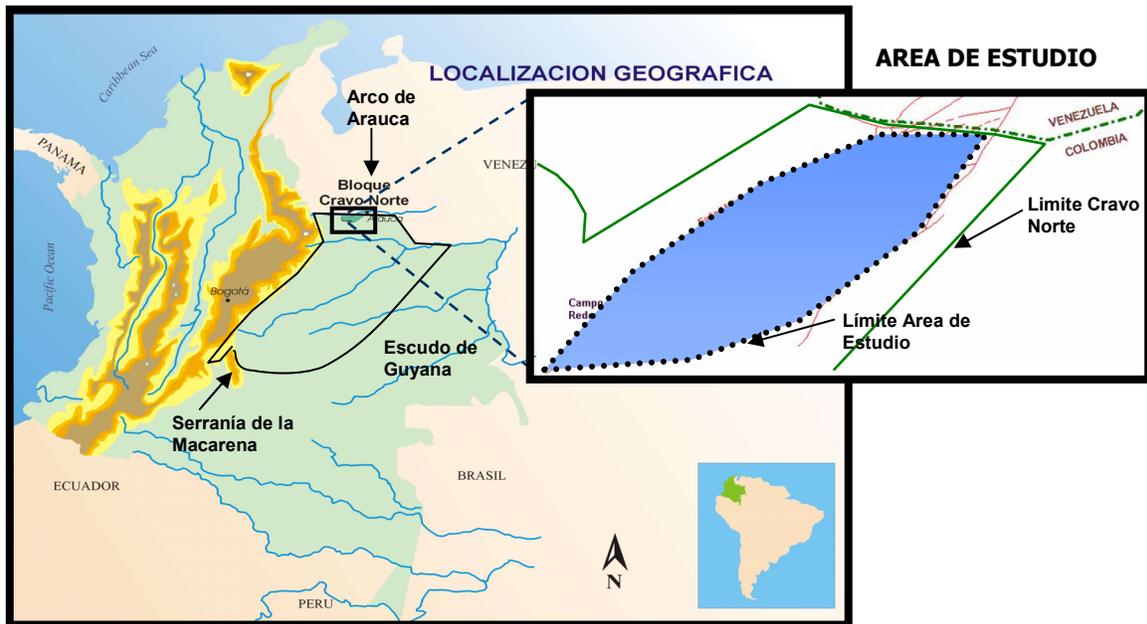
## 2. GENERALIDADES

### 2.1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra dentro del Contrato de Asociación: "Cravo Norte" de las Compañías Occidental de Colombia Inc. y Ecopetrol S.A., el cual se localiza al norte de la Cuenca Llanos Orientales, en el Departamento de Arauca (Fig. 1). Geográficamente esta cuenca limita al norte con el Río Arauca (frontera con Venezuela), al oriente con el Escudo de Guyana, al occidente con el Piedemonte de la Cordillera Oriental, y al sur con la Serranía de la Macarena (Fig. 1). De los 150 km<sup>2</sup> de extensión de Cravo Norte, solo 52 km<sup>2</sup> contienen pozos que alcanzaron al Miembro K1C Inferior, lo cual reduce el área de estudio (Fig. 1).

Geológicamente, la Cuenca de los Llanos Orientales está limitada al norte por el Arco de Arauca, que la separa de la cuenca Barinas-Apure en Venezuela, al oriente por el Escudo de Guyana, al occidente por las fallas frontales de la Cordillera Oriental y al sur, por los altos de basamento constituidos por la Serranía de la Macarena y el Arco del Vaupés. La cuenca se caracteriza por un cinturón de plegamiento y cabalgamiento en el frente de montaña, una cuenca profunda inmediatamente al oriente y un escudo granítico cada vez más somero hacia el borde oriental. (McCollough, 1985-86?, en Aristizábal, 2003).

El río Arauca separa Cravo Norte del campo Guafita en Venezuela. Cravo Norte comprende los campos Caño Limón, Caño Yarumal, Matanegra y Redondo (Fig. 1).



**Figura 1.** Localización Geográfica del área de estudio.

## 2.2. JUSTIFICACIÓN

Con el fin de actualizar el modelo geológico actual, Occidental de Colombia, Inc. está adelantando estudios detallados en las áreas de Geociencias e Ingeniería de producción, que reevalúan el conocimiento que se tiene acerca del área Cravo Norte. El primer paso, siempre es la revisión de la información geológica de las unidades litológicas y operacionales que conforman dicho bloque.

Esta práctica tiene como objetivo poner al día la información estratigráfica de la subunidad operacional “Lower K1C”, relacionando los datos y muestras preexistentes, con los obtenidos por medio de nuevos pozos de desarrollo.

### 2.3. METODOLOGÍA

El primer paso del proyecto es la compilación de toda la información concerniente a la Geología del área Cravo Norte y en especial, a la unidad operacional "LK1C", a partir de artículos, estudios previos, análisis de muestras, y bases de datos de la compañía. Todo esto con el fin de tener una visión del marco geológico regional del área de estudio.

Se llevará a cabo la descripción litológica (estructuras, textura, composición, trazas fósiles) de los corazones de cuatro pozos que alcanzaron dicha unidad, junto con el detalle petrográfico en secciones delgadas, para reconstruir la historia diagenética de la unidad. Luego se atara esta información a los registros eléctricos y acústicos (Gamma-Ray, SP, Resistivity, Neutron-Density, Sonic) para determinar la litología en donde no hay corazones, y entonces por medio de las correlaciones estratigráficas y estructurales, tener una visión del comportamiento del espesor y de la profundidad (mapas isópacos y estructurales) en toda el área de estudio. En este momento se tendrá la capacidad de identificar subdivisiones de la unidad LK1C y graficar sus facies depositacionales y columna estratigráfica representativa en Cravo Norte.

En la segunda parte de la practica, se analizaran los valores de los parámetros petrofísicos: porosidad efectiva ( $\Phi_{eff}$ ) y Porcentaje de Arcillas (Vcl) para considerar a una litología como roca reservorio (Net Sand) en LK1C. Por motivos de **confidencialidad**, no se emplearan valores oficiales de Cravo Norte, sino los definidos a criterio del autor. Todo esto con el fin de determinar la proporción litología/roca reservorio (Net to Gross), así como su distribución espacial, teniendo en cuenta la información obtenida en la primera parte de la practica. También se consideraran la producción acumulada de aceite por campos, con el fin de identificar el comportamiento de ésta en los diferentes yacimientos de Cravo Norte, aspecto con el cual terminara el segundo informe de avance.

En la tercera parte, retomando las facies identificadas, se propondrá una historia depositacional para la unidad LK1C y un mapa paleogeográfico representativo en el área de Cravo Norte. Finalmente, integrando los resultados de la segunda parte, se discutirán y concluirán las implicaciones de dicha historia en el comportamiento de la producción de hidrocarburos para esta unidad, en el área de Cravo Norte.

### 3. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

#### 3.1. ANTECEDENTES

El descubrimiento del Campo Caño Limón en 1983 y el proceso de desarrollo del mismo hasta nuestros días, han dejado como legado una gran cantidad de estudios acerca de la evolución tectono-estratigráfica de la cuenca de los Llanos Orientales, y especialmente del área de Cravo Norte, en el Departamento de Arauca.

Para el presente proyecto, y en el marco de la reevaluación de Cravo Norte que esta adelantando Oxy, los principales antecedentes son: las reconstrucciones paleogeográficas de Colombia en ***Tectonic Analysis (1998)***, la evolución tectónica de la Cuenca Llanos Orientales en ***Cooper et al (1995)***, el estudio estratigráfico de la Cuenca Llanos Orientales haciendo énfasis en el sector del Depto. de Arauca en ***Colmenares et al (1988)***, y el estudio de la naturaleza sedimentológica de los reservorios en Caño Limón en ***Cleveland & Molina (1990)***.

#### 3.2. ESTRATIGRAFIA

En la Cuenca Llanos Orientales, se ha identificado una secuencia sedimentaria de edad Proterozoico Tardío a Holoceno, que suprayace al borde occidental del Escudo de Guyana (basamento cristalino), y cuyo espesor va de 36000' en el extremo occidental a 10500' en el Oriental o piedemonte (***Colmenares et al, 1988***).

En el sector de Arauca, especialmente en Cravo Norte, la secuencias precretáceas no revisten interés económico, por lo cual se ha estudiado con detalle la estratigrafía desde el Cretácico (Ver Fig. 2), con una nomenclatura litoestratigráfica de unidades separadas por inconformidades dentro de las cuales,

se realizan subdivisiones informales con criterios operacionales (según la distribución de las zonas productoras). De esta forma se han definido tres grandes unidades (Ver Fig. 2): **Secuencia Pre-Cretácica** (comprende Basamento Cristalino, Secuencia Paleozóica, y Capas Rojas del Triásico), **Secuencia Cretácica**, y **Secuencia Terciaria**.

Los topes estratigráficos de las grandes unidades, se vienen empleando sin cambios desde el descubrimiento del campo en 1983. Sin embargo los topes de las subunidades fueron modificadas en los últimos años; razón por la cual Occidental de Colombia, esta reevaluando la información reunida durante el tiempo que lleva operando el campo para adaptarla a la nueva nomenclatura (Ver Fig. 2). En el presente estudio se empleara la nueva nomenclatura, y solo se hará mención a la antigua, cuando haya lugar.

La nomenclatura estratigráfica empleada en Cravo Norte es correlacionable con las de otros operadores, en otras áreas de la cuenca (Ver Fig. 3).

### **3.2.1. SECUENCIA PRE-CRETÁCICA**

#### **Basamento Cristalino:**

Se trata de un complejo metamórfico de edad precámbrica, y pertenece al extremo occidental del Escudo de Guyana (Colmenares et al, 1988). Por no representar ningún interés económico a tales profundidades, solo ha sido mapeado mediante gravimetría y magnetometría. La menor profundidad que alcanza en el sector de Arauca es de 12000'.

#### **Paleozóico:**

Consiste en sedimentos clásticos y rocas de metamorfismo regional de bajo grado, como cuarcitas calcáreas y filitas (Colmenares et al, 1988). Su limite superior ha

sido identificado mediante sísmica, como una superficie erosional que la pone en contacto con la secuencia Cretácica, mientras que su límite inferior no es distinguible en la sísmica y solo puede suponerse como discordante sobre el basamento cristalino (*Colmenares et al, 1988*).

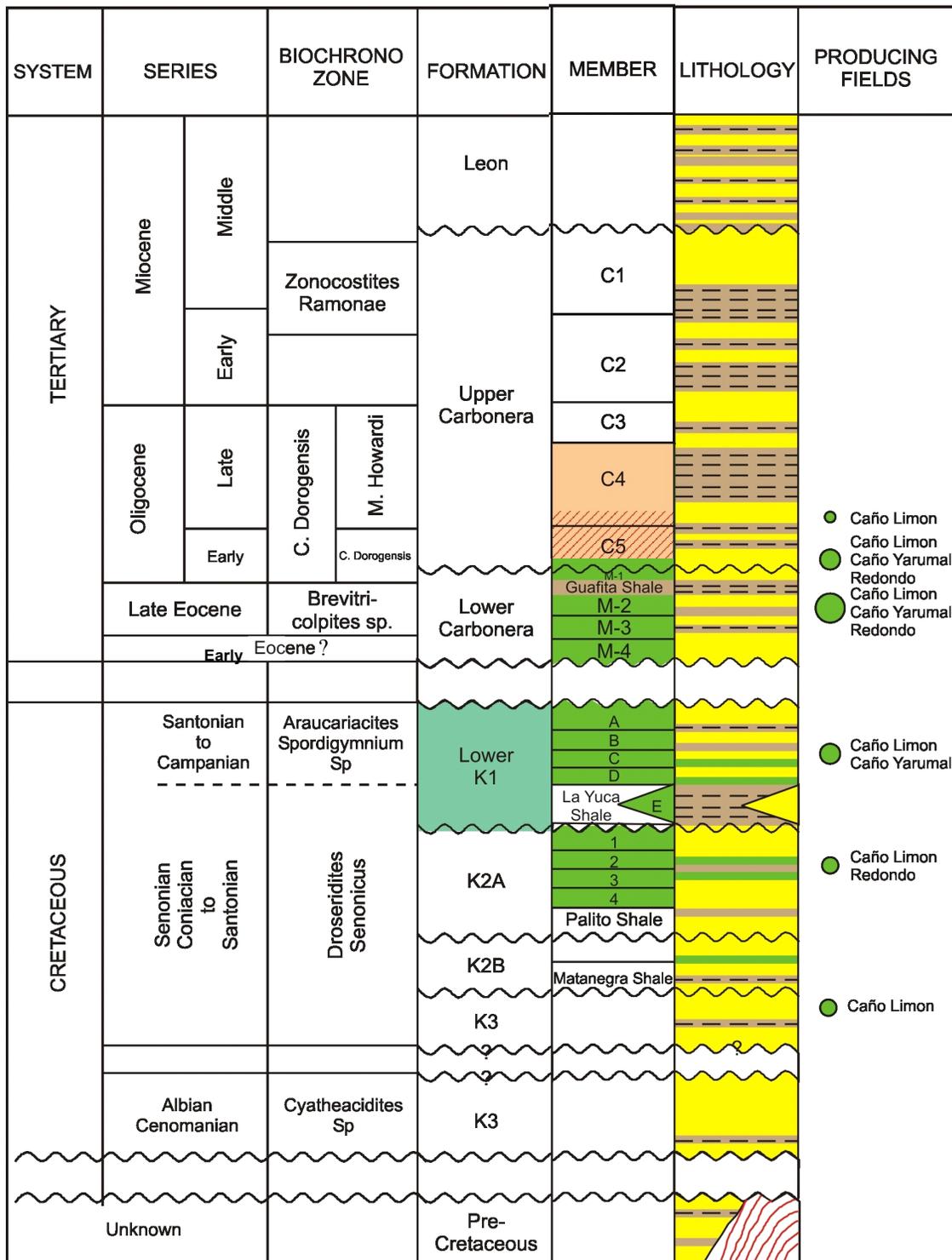
### **Triásico:**

Se presenta localmente (solo fueron alcanzados por 3 pozos en Cravo Norte), y se trata de intercalaciones de areniscas cuarzosas con arcillolitas y limolitas arcillosas, de coloraciones parduscas, de carácter ferruginoso (*Colmenares et al, 1988*). Su espesor no supera los 1200', y mediante la sísmica, se determinó que está lateralmente restringida por los sedimentos Paleozoicos y suprayacida por la secuencia Cretácica (*Colmenares et al, 1988*).

### **3.2.2. SECUENCIA CRETÁCICA**

En general, la secuencia Cretácica en Cravo Norte, consiste en sedimentos siliciclásticos con influencia marina, cuyas edades han sido estimadas principalmente mediante palinoestratigrafía (*Cleveland & Molina, 1990*).

En Arauca, los sedimentos Cretácicos muestran espesores que varían entre los 1100' y 2100', con incrementos sucesivos en dirección E-W (*Colmenares et al, 1988*). El límite superior de la secuencia fue determinado con ayuda de la bioestratigrafía, y puede apreciarse también en la sísmica e incluso en los registros de pozo, siendo correlacionado con la inconformidad Cretácico-Terciario (*Colmenares et al, 1988*). La inconformidad del Cretácico basal, está bien marcada en la sísmica como su límite inferior (*Colmenares et al, 1988*). La secuencia Cretácica en Cravo Norte, ha sido dividida en cinco formaciones separadas cada una por inconformidades, las cuales se describen a continuación de más antigua a más joven.



**Figura 2.** Columna estratigráfica representativa del área Cravo Norte. (Modificado de Cleveland & Molina, 1990).

EDAD	NOMENCLATURA						ESPESOR (pies)		
	PIEDEMONTE	META ECOPETROL	CASANARE ELF AQUITANE	ARAUCA INTERCOL OCCIDENTAL		META	ARAUCA		
PLEISTOCENO	FARALLONES	GUAYABO	GUAYABO	PALMAR	GUAYABO	3000 a 10000			
PLIOCENO									
MIOCENO									
	CAJA								
	DIABLO	LEON	LEON	LEON	LEON				
OLIGOCENO	SAN FERNANDO	CARBONERA	CARBONERA	CARBONERA	CARBONERA				
EOCENO TARDIO	MIRADOR	T2	MIRADOR	MIRADOR	CARBONERA INF.	80	260		
PALEOCENO	SOCHA/CUERVOS	/ / / /	CUERVOS	CUERVOS	/ / / /	500	0 a 950		
	SOCHA/CUERVOS SS		BARCO	BARCO					
MAASTRICHTIANO CAMPANIANO SANTONIANO CONIACIANO CENOMANIANO ALBIANO APTIANO	GUADUAS	GUADALUPE	K1	GUADALUPE	GUADALUPE	K1	150 a 600	500 a 800	
	GUADALUPE			GACHETA					CHIPAQUE
	CHIPAQUE		K2	ARENISCAS INFE.					
	UNE					UNE	K3		

**Figura 3.** Tabla de correspondencias entre la nomenclatura estratigráfica empleada por Occidental de Colombia en Cravo Norte (Arauca) y las otras compañías operadoras en la Cuenca de los Llanos Orientales. (Tomado de *Castro, E., 1989*)

### Formaciones K3 Inferior y K3 Superior

Se trata de dos secuencias de areniscas y lodolitas fluviodeltáticas de edad Albiano-Cenomaniano (*Bogotá, 1988*), separadas por inconformidades (Ver Fig. 2), que alcanzan un espesor de cerca de 250 metros (800 ft). En Cravo Norte, tanto su contacto inferior con el basamento, como el superior con la Fm K2, son inconformes. Equivale a la Fm Une (*Castro, E., 1989*), y a pesar de contar con buenas cualidades petrofísicas, solo K3 Superior es productora en el campo Caño Limón (*Gabela, 1985* y *Base de Datos Oxy, 2003*).

### **Formaciones K2A y K2B**

Consisten en intercalaciones de cuarzoareniscas y areniscas calcáreas con shales, con un importante contenido de glauconita, cuyos ambientes de depositación han sido determinados como frente de playa inferior para el K2B (*Alarik, I., 2003*), y una secuencia que va de canales mareales a llanura de playa y playa posterior para el K2A (*Aristizábal, N., 2003*). Sus edades corresponden al intervalo Coniaciano–Santoniano (*Bogotá, 1988*). En Cravo Norte, su espesor varía alrededor de los 82 metros (270 ft), y solo K2A es produce en los Campos Caño Limón y Redondo (*Gabela, 1985 y Base de Datos Oxy, 2003*). Tanto su tope como su base, son inconformes (Ver Fig. 2). Toda la unidad K2 es equivalente a la Fm. Chipaque (*Castro, E., 1989*)

### **Formación K1 Inferior (LK1)**

En Cravo Norte, la parte superior de la unidad K1 (Upper K1) esta ausente; para encontrarla, hay que salir de los límites occidentales de este bloque (*Cleveland & Molina, 1990*). Por esta razón, en Cravo Norte solo se le llama: “K1”, y sus miembro no llevan el prefijo “Lower”.

La unidad K1, está compuesta principalmente por intercalaciones de areniscas y escasas calizas con shales, cuyo ambiente de depositación ha sido determinado como transicional a marino somero (*Gabela, 1985*). Su edad ha sido calculada de Santoniano a Campaniano, mediante palinoestratigrafía, con especimenes de *Araucariacites Sp.* y *Spordigymnium Sp.* (*Gabela, 1985*). El espesor alcanza en promedio 95 metros (313 ft) en los campos Caño Limón y La Yuca, y 75 metros (247 ft) en el campo Matanegra. Esta unidad es equivalente al Grupo Guadalupe, encontrada también por otros operadores en la Cuenca de los Llanos Orientales (*Castro, E., 1989*).

El contacto superior de K1 se encuentra marcado por el paso de un ambiente de depositación transicional a uno continental y la perdida de sección estratigráfica

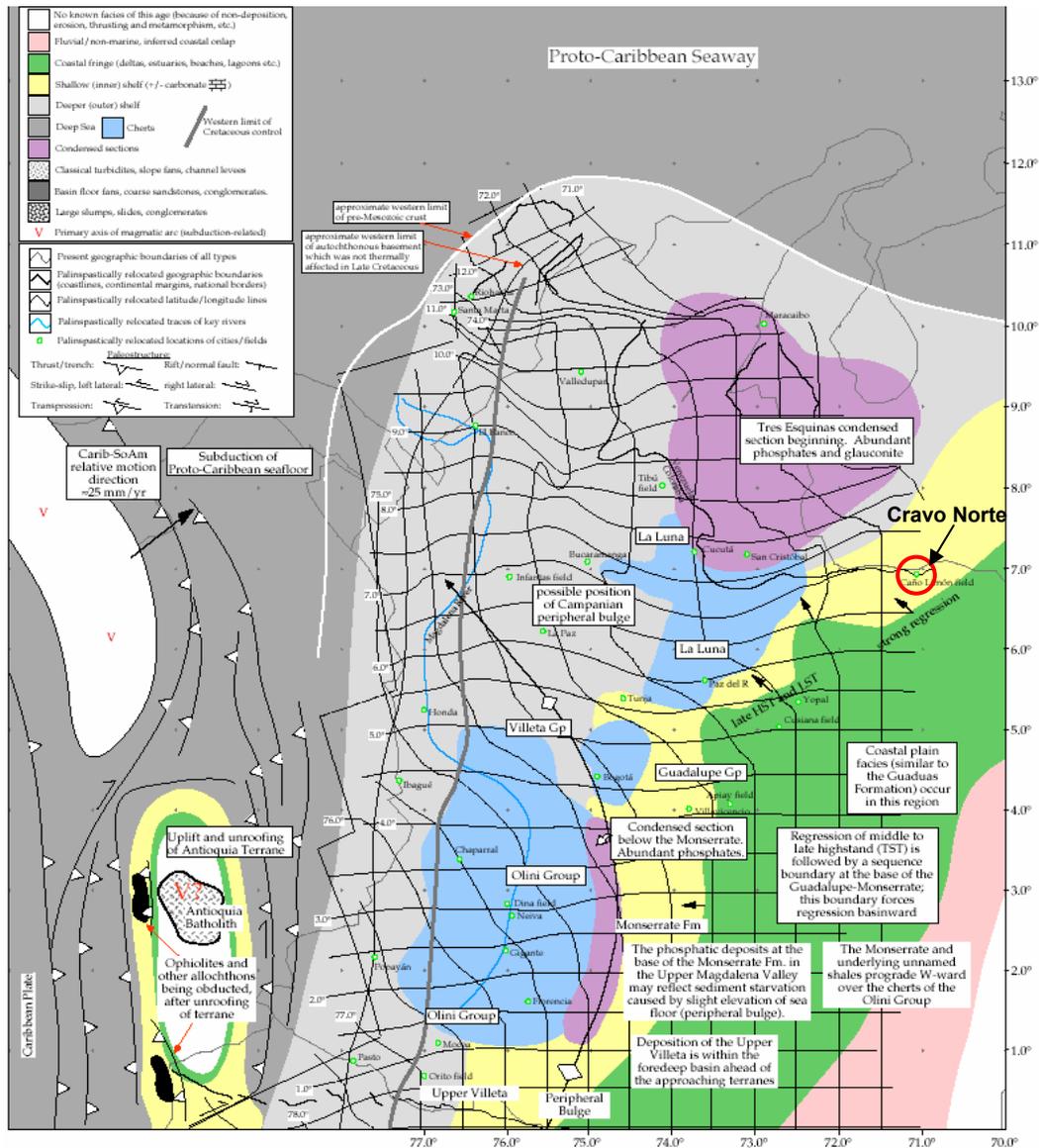
desde el Campaniano hasta el Eoceno Temprano a Medio (según datos palinoestratigráficos) por lo cual, ha sido interpretado como inconforme (*Cleveland & Molina, 1990*). Su base también ha sido definida como inconforme, debido a contrastes notorios en las respuestas de los registros eléctricos, los abruptos cambios de litología y los datos bioestratigráficos (*Cleveland & Molina, 1990*).

K1 ha sido subdividida en cinco miembros (Ver Fig. 2): K1A, K1B, K1C, K1D y K1E. Los cuatro primeros son predominantemente arenosos, mientras que el último (K1E) es principalmente arcilloso, representando una barrera regional al flujo vertical que también es conocida como “La Yuca Shale” (*Cleveland & Molina, 1990*). Solamente los miembros K1B y K1C—el cual es el objetivo del presente estudio— son productores, en los campos Caño Limón y Caño Yarumal (*Base de Datos Oxy, 2003*).

**Miembro Cretácico K1C:** El Miembro Cretácico K1C no ha sido estudiado en detalle. Además de los estudios exploratorios y de desarrollo inicial como el de Gabela (1985) y Cleveland & Molina (1991) entre otros, todas las reconstrucciones paleoambientales que se han realizado acerca del Cretácico en Cravo Norte han sido a escala de Formación. El Miembro K1C solo ha sido dividido con un criterio operacional, en las siguientes subunidades: *K1C1*, *K1C1S*, *K1C2* y *K1C2S* (Ver Figuras 19 a 22).

El marco paleogeográfico para el Santoniano-Campaniano sitúa al área de Cravo Norte en un ambiente marino somero (Tectonic Analysis, 1998), cuya franja se extiende desde el Noreste hacia el Suroeste (Ver Fig. 4), la cual corresponde al Grupo Guadalupe, a cuyos niveles superiores equivale el Miembro K1C. En el estudio de Correa (1993), se determinó que el ambiente de depositación de la Fm K1 iba desde prodelta en la parte basal, a frente de playa superior en barras progradantes en canales mareales en el tope. Por su parte, en el estudio de Serrano y & Urrego (1996) por ejemplo, se identificaron en la Fm K1 depósitos de

plataforma marina somera con alta influencia mareal, con parasecuencias que van de un TST (Transgressive System Tract) en la parte basal, a un HST (Highstand System Tract).



**Figura 4.** Mapa Paleogeográfico de Colombia, durante el Santoniano-Campaniano Temprano. Nótese la localización del Area Cravo Norte en un ambiente de depositación marino somero (franja amarilla), que corresponde al Grupo Guadalupe. (Modificado de Tectonic Analysis, 1998).

### **3.2.3. SECUENCIA TERCIARIA-CUATERNARIA**

#### **Formación Carbonera Inferior**

La componen cuerpos de arenas interestratificados con lodolitas, cuyo ambiente de depositación ha sido definido como deltáico con dominio fluvial. Se encuentra subdividido en cuatro zonas: M1, M2, M3 y M4. Tiene un espesor total de alrededor de 280 ft en el (85 m) en los campos Caño Limón y La Yuca, y de cerca de 215 ft (66m) en el campo Matanegra.

El intervalo de lodolita llamado “Guafita Shale” separa el miembro M1 de los subyacentes, y representa una barrera regional para el movimiento vertical de los fluidos (Cleveland & Molina, 1991). Su edad, según datación de palinomorfos, corresponde a Eoceno medio-tardío a Oligoceno temprano (Cleveland & Molina, 1990). Es equivalente a la Fm. Mirador (Castro, E., 1989).

#### **Formación Carbonera Superior**

Con un espesor promedio de 1300 ft (460 m), la Fm. Carbonera Superior consiste principalmente en arcillolitas y arenas de canales meandriformes, especialmente en la parte basal (Cleveland & Molina, 1990). Su edad, con base en palinoestratigrafía, ha sido estimada en Oligoceno a Mioceno medio, y esta dividido en cinco miembros: C1, C2, C3, C4 y C5, los cuales a pesar de ser continuos en la cuenca, localmente tienen poca conectividad (Cleveland & Molina, 1990).

#### **Formación León**

Con un color predominantemente gris verdoso y un espesor promedio de 800 ft (250m), esta unidad consiste casi totalmente en lutitas, y en menor proporción, limolitas, areniscas y lutitas carbonosas. Su edad ha sido estimada en Mioceno medio (Cleveland & Molina, 1990).

### **Formación Guayabo**

Con un espesor promedio de 5000 ft, a esta unidad la componen principalmente dos juegos de litologías: en la parte basal, una secuencia de arcillolitas interestratificadas localmente con capas de arenas, limolitas, lutitas carbonosas e incluso algunos lentes de carbón, y en la parte superior, un paquete con mayor proporción de arenas, y también algo de limolitas y lutitas carbonosas. Su edad corresponde a Mioceno tardío a Plioceno (*Cleveland & Molina, 1990*).

### **Cuaternario**

Suprayaciendo a la Fm. Guayabo, solo se encuentran depósitos aluviales y fluviales de arenas y gravas arcillosas, no consolidadas (Robertson research, 1985, en Alarik, 2003).

### **3.3. ESTRUCTURAS**

En Cravo Norte se han identificado dos grupos de fallas y uno de pliegues (Ver Fig. 5), mediante la integración de los datos de la sísmica tridimensional con los registros de pozo, apoyados a su vez por las muestras de corazones y cortes de zanja.

#### **3.3.1. FALLAS**

El primer grupo lo conforman los tres sistemas principales de fallas del campo y una falla menor (todos con orientación Noreste-Suroeste): Falla Caño Limón, Falla La Yuca, Falla Matanegra y Falla de Pastora, respectivamente. El segundo grupo de fallas lo integran las que tienen orientación este-oeste: La Falla de Arauca y otras estructuras satélites.

##### **Falla Caño Limón:**

Es la más importante del campo, y consiste en una serie de fallas transformantes entrelazadas de longitud variable, con orientación Noreste-Suroeste. Su desplazamiento tiene una componente dextral y otra vertical, ambas con una magnitud que va de 0 a 500 ft (0-150 m) (Molina, 1991). Esta zona de falla separa a Cravo Norte, en dos bloques: El Bloque Caño Limón-La Yuca y el Bloque Matanegra (bloque levantado) (Ver Fig. 5).

##### **Falla La Yuca:**

Al igual que la Falla Caño Limón pero con menor complejidad, la Falla la Yuca exhibe un desplazamiento dextral con una componente inversa de cerca de 500 ft (Molina, 1991), respecto al bloque al suroeste de esta falla (Ver Fig. 5).

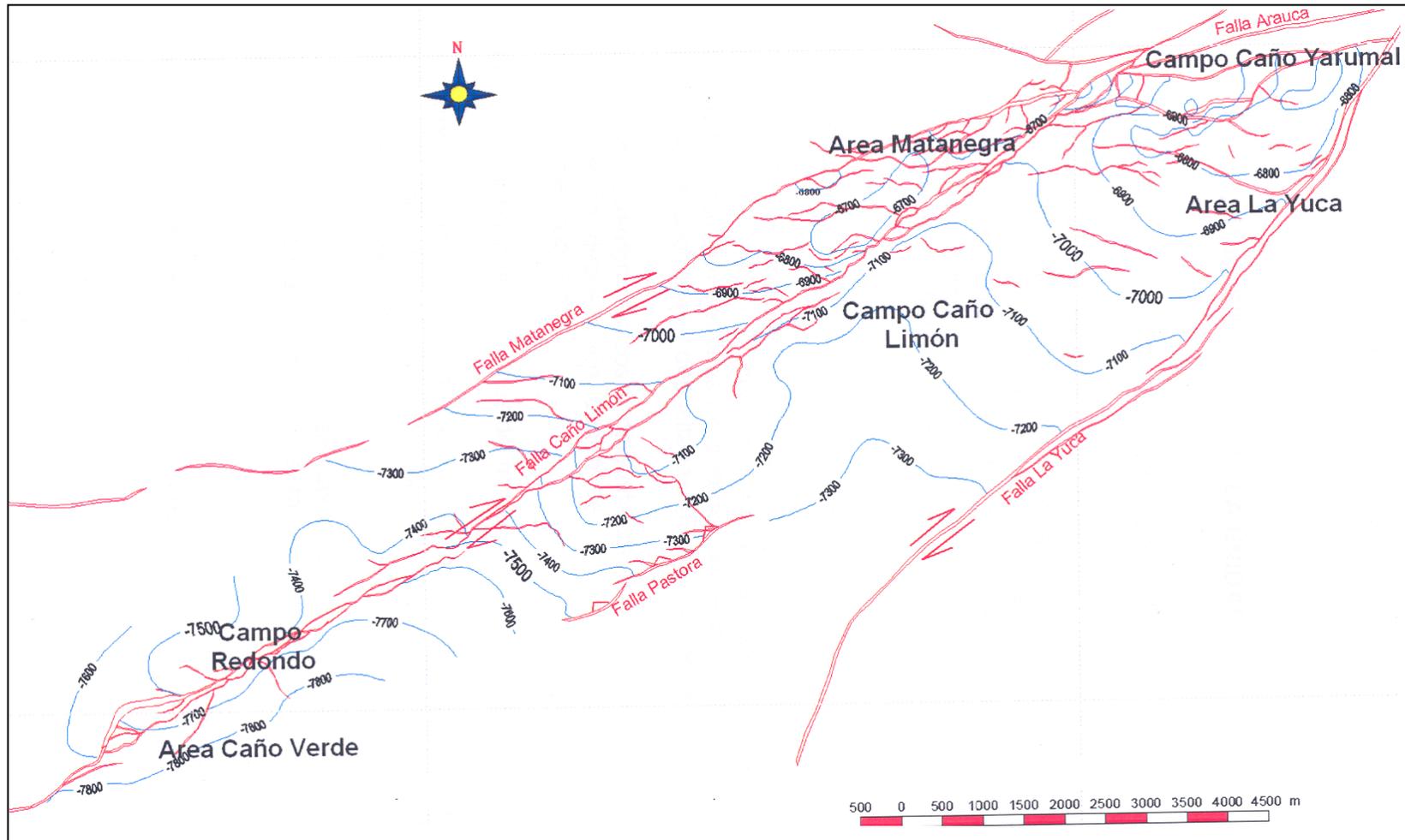


Figura 5. Mapa Estructural al Tpe de Guafita Shale, en el área Cravo Norte. (Modificado de Aristizábal, 2003)

**Falla Matanegra:**

Es la menos compleja de las tres principales, pues esta conformada solo por un plano de falla, y también exhibe un desplazamiento dextral con una componente inversa (Molina, 1991) (Ver Fig. 5).

**Falla Pastora:**

Esta estructura se encuentra entre las fallas de Caño Limón y La Yuca (Ver Fig. 5), cuenta con una longitud de cerca de 3.5 Km. y muestra un desplazamiento inverso de hasta 100 ft (30m aprox.), con el bloque sureste caído (Molina, 1991). Es posible que se haya formado como producto de la transferencia de esfuerzos transformantes entre las fallas de Caño Limón y La Yuca (Molina, 1991).

**Falla de Arauca y fallas satélites:**

Además de contar con una orientación muy diferente al tren estructural de las principales fallas (Ver Fig. 5), estas estructuras presentan desplazamientos de verticales a normales y algunas—la de menor desplazamiento—, cortan al “Horst” de Matanegra (Molina, 1991).

**3.3.2. PLIEGUES**

Los pliegues consisten en anticlinales y sinclinales asociados a los principales grupos de fallas. Los bloques o áreas en las que se ha subdividido el campo Caño Limón, corresponden cada uno a un prominente alto estructural (Ver Fig. 6).

**Alto de Caño Limón:**

Consiste en un anticlinal truncado por las fallas de Caño Limón y Pastora, que cabecea hacia el sur (Ver Fig. 5 y 6). Su buzamiento estructural oscila entre 2° y 12°, con buzamientos mas pronunciados al suroeste (Molina, 1991).

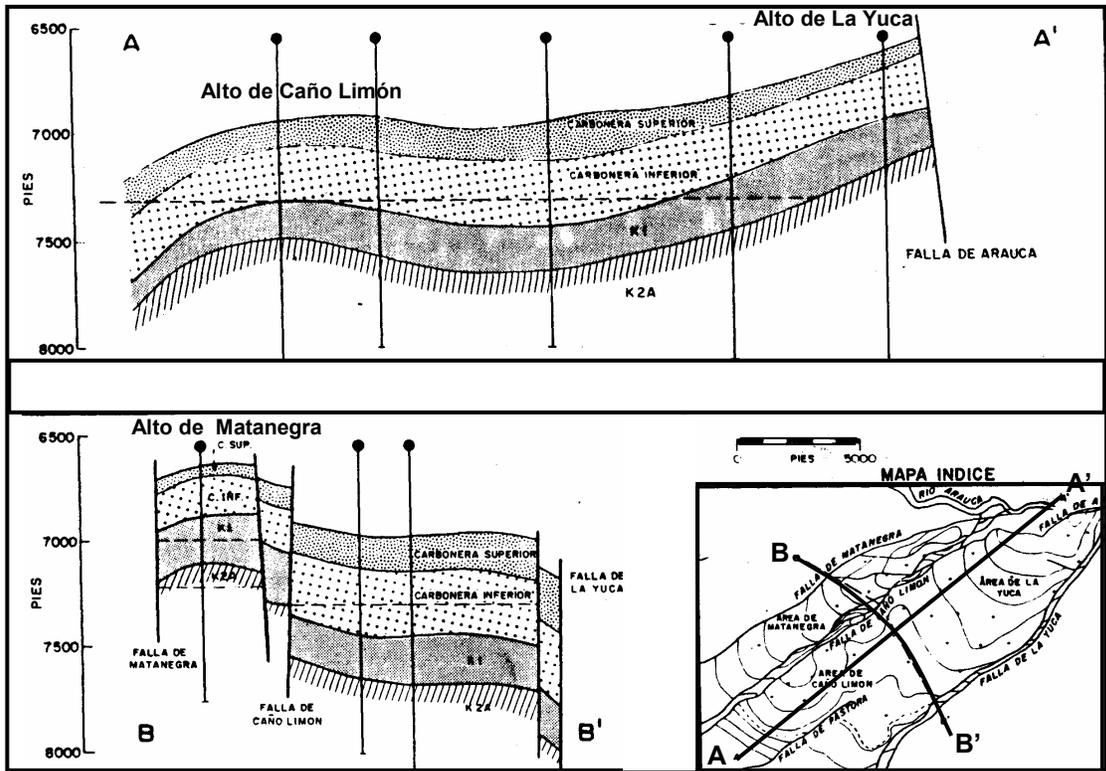


Figura 6. Principales Estructuras en el área de Cravo Norte. (Modificado de Molina, 1991).

**Alto de La Yuca:**

Se trata de un amplio anticlinal de menor complejidad que el de Caño Limón. Con cabeceo al suroeste, esta estructura se encuentra truncada buzamiento arriba por la Falla de Arauca (Ver Fig. 5 y 6), presentando flancos muy simétricos (en promedio 2° tanto al SW como la SE). Por este motivo, Molina (1991) lo llama “nariz estructural”. El sinclinal que divide a los altos de Caño Limón y La Yuca, cabecea al sur con un buzamiento de alrededor de 1°, y esta acompañado por una pequeña y poco destacada “nariz estructural” que también cabecea hacia el sur (Molina, 1991).

**Alto de Matanegra:**

Es el punto estructuralmente mas alto del campo, pero a diferencia de los anteriores, este corresponde a una estructura tipo “Horst” (Molina, 1991), construida por la fallas de Matanegra y Caño Limón (Ver Fig. 5 y 6).

### **3.4. EVOLUCION TECTONICA DEL SECTOR DE ARAUCA, EN EL MARCO DE LA CUENCA LLANOS ORIENTALES**

Los eventos tectónicos que han afectado a la Cuenca Llanos Orientales, están íntimamente relacionados con el desarrollo de un margen activo de subducción en el borde occidental de Suramérica, liderado por la interacción de las placas de Norteamérica, Yucatán y Farallones, con la de Suramérica (Tectonic Analysis, 1998).

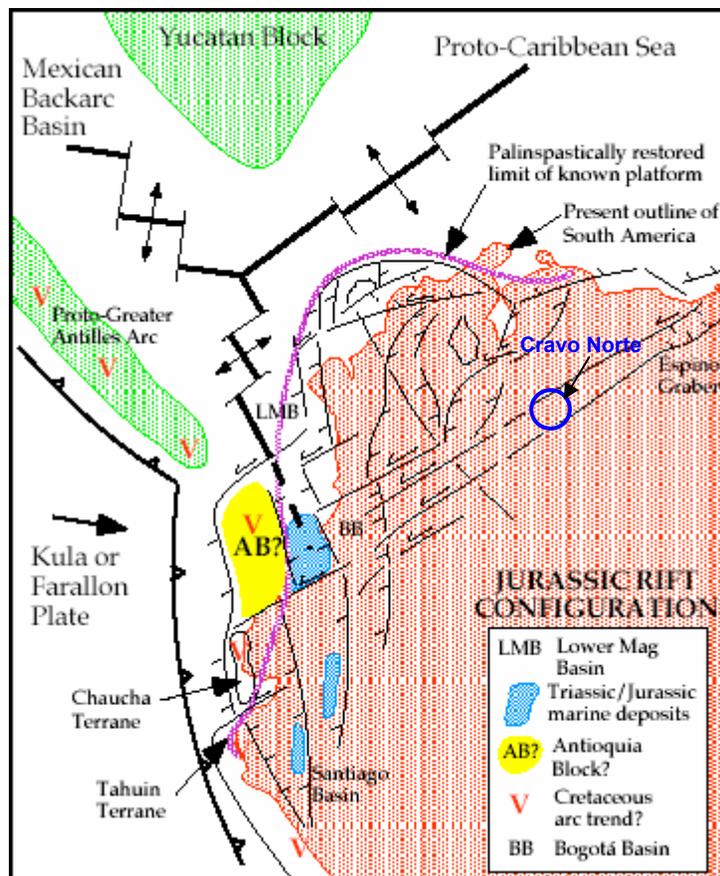
#### **3.4.1. PRE-CRETÁCICO**

Las fallas de Caño Limón y La Yuca son consideradas pre-Cretácicas, y asociadas a un proceso de rifting (Tectonic Analysis, 1998; Ver Fig. 7). Este evento puede corresponder al que en *Cooper et al (1995)* se identifica como responsable de la apertura del mar Proto-Caribe y la separación de Norte y Suramérica, ocurrido desde el Triásico hasta el Cretácico temprano (~235-130 MA). Esto se confirma con la ayuda de mapas sísmicos de espesor a escala regional en Cravo Norte, en los cuales se han identificado aumentos y disminuciones en el espesor de la sección pre-Cretácica orientados subparalelamente a las fallas de Caño Limón y La Yuca, pues representan evidencia de la existencia de bloques fallados anteriores al Cretácico. Esta secuencia fue posteriormente erodada hasta formar una penillanura, sobre la cual se depositó la Fm. K3 (Molina, 1991).

#### **3.4.2. CRETÁCICO**

La Cuenca Llanos Orientales fue un margen pasivo sujeto solamente a subsidencia térmica y cambios eustáticos en el nivel del mar (Tectonic Analysis, 1998) desde el Albiano, cuando la sección Cretácica en Cravo Norte inicia su depositación con la Fm. K3, hasta el Campaniano (Ver Fig. 4), cuando termina con la Fm. K1.

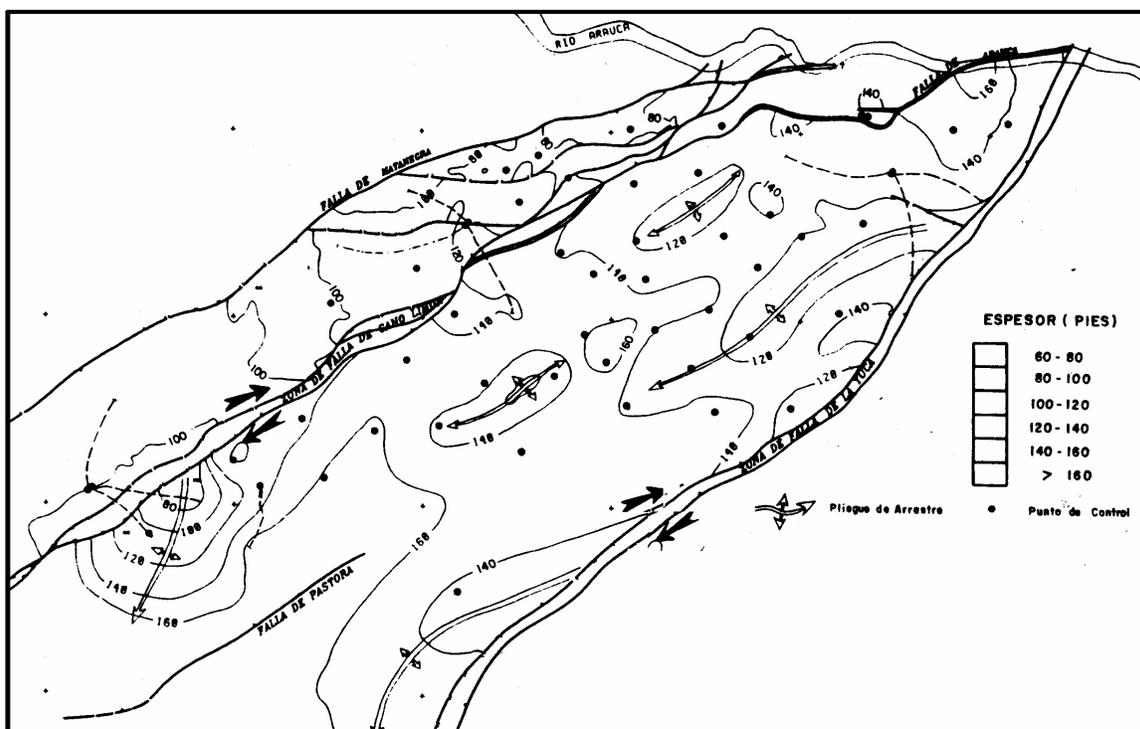
Se han identificado cuatro ciclos transgresivos mayores (Molina, 1991). El primero de ellos ocurrió alrededor del Cenomaniano (Fm. K3 media), el segundo entre las formaciones K3 y K2B, el tercero entre las formaciones K2B y K2A (Ver Fig. 2: “Palito Shale”), y el cuarto entre las formaciones K2A y K1 (Ver Fig. 2: “La Yuca Shale”). Posteriormente, durante la depositación de la Fm K1 inferior, ocurrieron varios ciclos transgresivos menores, los cuales separan a los miembros K1D a K1A entre si (Molina, 1991).



**Figura 7.** Configuración regional de rift en Colombia, durante el Jurásico. (Modificado de Tectonic Analysis, 1998).

A finales del Campaniano, los paleoaltos de Caño Limón, La Yuca y Matanegra ya eran estructuras que sobresalían, no obstante, el área de La Yuca era

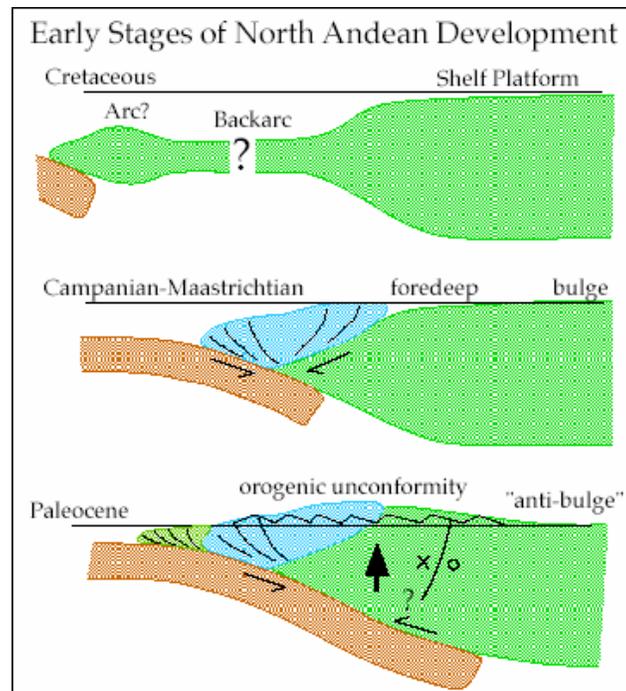
considerablemente mas baja (Molina, 1991). Las fallas Caño Limón y La Yuca, fueron reactivadas durante esta época, dando lugar al desarrollo de los paleoaltos de Caño Limón y La Yuca (Ver Fig. 8), como respuesta al arrastre del desplazamiento dextral de la fallas de Caño Limón y La Yuca (Molina, 1991).



**Figura 8.** Interpretación Paleoestructura a finales del Campaniano (Mapa isópaco K1A-TopeK1C). (Modificado de Molina, 1991).

En la discordancia Cretácico-Terciario (Maastrichtiano a Paleoceno Temprano), terminó el último evento de acreción de la Cordillera Occidental, el cual provocó el levantamiento y erosión de la Cordillera Central (Ver Fig. 9) y la depositación de la megasecuencia de antepais pre-Andina (Cooper, 1995). En el sector de Arauca, en este intervalo de tiempo se registra el cambio de ambiente de depositación de marino estable a deltáico con dominio fluvial, y es muy posible que las fallas de Caño Limón, La Yuca y Matanegra estuviesen activas durante este tiempo, pues el

crecimiento estructural del área La Yuca comenzó desde finales del Cretácico (Molina, 1991).



**Figura 9.** Perfiles esquemáticos W-E del desarrollo de los Andes Colombianos. (Modificado de Tectonic Analysis, 1998).

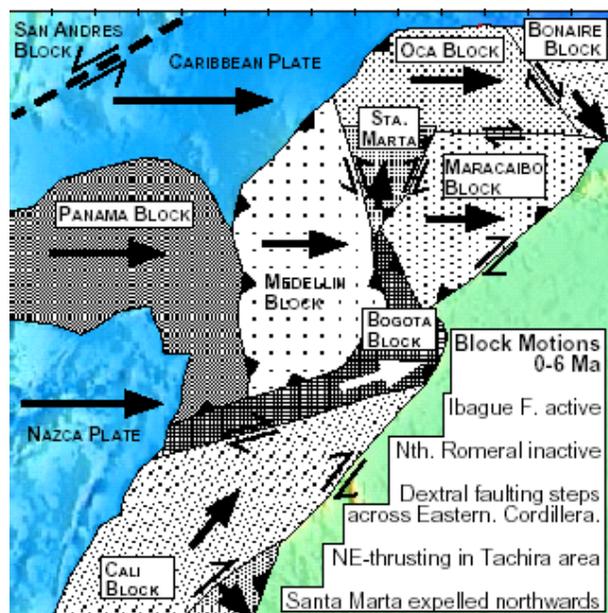
### 3.4.3. TERCIARIO-CUATERNARIO

Durante este periodo, el crecimiento estructural se presentó en toda el área de Cravo Norte (Molina, 1991). Durante el Eoceno Temprano y Medio, el bloque Matanegra estuvo ligeramente basculado y la Falla de Arauca tuvo un crecimiento sindeposicional asociado a las fallas mayores, hasta el Eoceno tardío, cuando en una superficie de relativamente baja actividad tectónica, se depositó la Lutita de Guafita (o Guafita Shale) y posteriormente la última unidad de la Fm Carbonera Inferior. A finales de Eoceno e inicios del Oligoceno, la Fm Carbonera Superior comenzó a depositarse sobre un relieve que Molina (1991) asume como relativamente suave, continuando posteriormente con el crecimiento estructural

que culminó con prácticamente la configuración actual del Campo Caño Limón (Ver Fig. 5).

Durante el Oligoceno Temprano (tiempo de depositación del Miembro C5), no hubo mayor actividad tectónica, por lo cual los paleoaltos previamente desarrollados fueron sepultados sucesivamente hasta la depositación del Miembro C2 y C1 (Mioceno Temprano a Medio), cuando se reactivó el crecimiento estructural en todas las áreas caracterizado por un basculamiento regional, como respuesta al inicio de la Orogenia Andina (Molina, 1991).

La Orogenia Andina y su actividad tectónica asociada, ha continuado hasta nuestros días (Ver Fig. 10), afectando con poca intensidad a las estructuras de Caño Limón, pues solamente se presentan pequeñas fallas normales de orientación E-W (Ver Fig. 5) que cortan a los horizontes de la Fm. Carbonera Superior, y un aumento en el espesor hacia el SW de las Formaciones León y Guayabo (Molina, 1991).



**Figura 10.** Marco Tectónico Regional Actual de Colombia. (Modificado de Tectonic Analysis, 1998).

## **4. DESCRIPCION LITOLÓGICA DE LOS NUCLEOS DE PERFORACION**

En este capítulo se mostrarán los resultados de la descripción litológica de los núcleos de los cuatro pozos que corazonaron al Miembro Cretácico K1C. Se iniciará con el marco teórico de la descripción es decir, las definiciones y nomenclaturas que se emplearon en el presente estudio, para dar lugar entonces a la descripción misma.

### **4.1. DEFINICIONES Y NOMENCLATURAS**

En la Geología existen muchas nomenclaturas propuestas por diferentes autores, para realizar la descripción litológica de muestras de roca. Con el fin de evitar ambigüedades en cuanto a los términos empleados, a continuación se ilustran las nomenclaturas y las definiciones que se utilizan en el presente estudio, principalmente en cuanto a Textura, Composición y Estructuras.

#### **4.1.1. TEXTURA**

Por textura, se referirá en el presente estudio principalmente al tamaño de grano y al porcentaje de las partículas y espacios vacíos (poros) que componen a la roca. Los aspectos como el grado de selección (según Pettijhon en Boggs, Jr. 1987), la redondez y esfericidad (Powers 1953, en Friedman & Sanders 1978), y el tipo de contacto (J.M Taylor 1950, en Friedman & Sanders 1978), se describirán en la sección de Petrografía (Capítulo 5).

Para el tamaño de grano, se empleo la nomenclatura de Wentworth (1922) en Berg (1986), en la cual se reconocen cuatro grandes grupos de tamaños: Grava,

Arena, Limo y Arcilla, marcando sus límites con la medida del diámetro de la partícula en milímetros (Ver Fig. 11)

Diameter (mm)	Phi class <sup>a</sup> ( $\phi$ )	Modal class	Sediment	Rock
256	-8	Boulders		
64	-6	Cobbles	Gravel	Conglomerate
4	-2	Pebbles		
2	-1	Granules		
1	0	Very coarse		
0.50	+1	Coarse		
0.25	2	Medium	Sand	Sandstone
0.125	3	Fine		
0.062	4	Very fine		
0.031	5	Coarse		
0.015	6	Medium	Silt	Siltstone
0.007	7	Fine		
0.004	8	Very fine		
<0.004		Clay	Clay	Claystone

SOURCE: Wentworth 1922.  
<sup>a</sup> $\phi = -\log_2$  (diameter, mm).

**Figura 11.** Clasificación del tamaño de grano del sedimento detrítico, según Wentworth (1922). [Tomado de Berg, 1986]

La clasificación textural de las muestras se realizara con base en la nomenclatura empleada en Mier R. (1994), la cual se muestra en la Tabla 1.

<b>% DE GRAVA</b>	<b>CLASIFICACION</b>	<b>PROPORCION ARENA / LODO</b>	<b>CLASIFICACION</b>
>80	Conglomerado	9/1	Arenisca
30-80	Conglomerado arenoso o lodoso	9/1 - 1/1	Arenisca Lodosa
5-30	Arenisca o lodolita conglomerática	1/1 – 1/9	Lodolita o Shale arenosa
1-5	Arenisca o lodolita ligeramente conglomerática	< 1	Lodolita o Shale

**Tabla 1.** Nomenclatura para la clasificación textural de rocas siliciclásticas. Modificado de Mier, R., (1994).

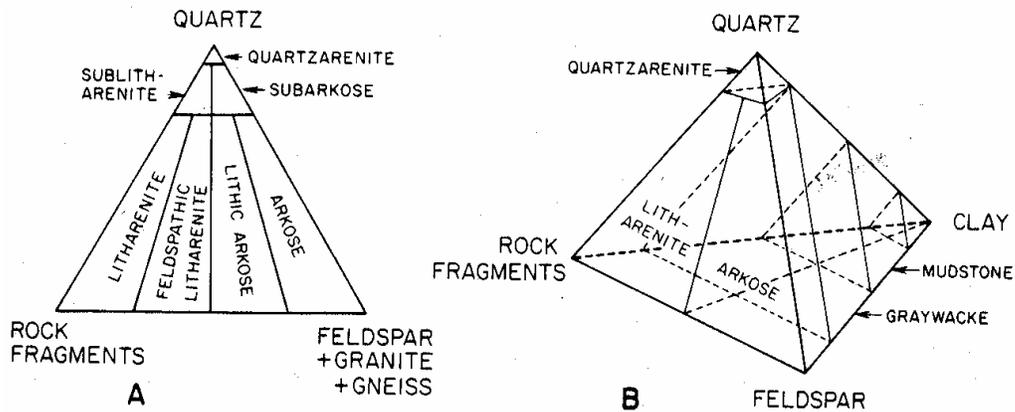
Respecto a la cantidad de arcilla en las areniscas, en el presente estudio se hablara de “areniscas” si el porcentaje va de 0-5%, “areniscas ligeramente arcillosas” si esta entre 5-10%, y “areniscas arcillosas” si oscila entre 10 -15%.

#### **4.1.2. COMPOSICIÓN**

Para la composición de arenas se empleo la nomenclatura de Folk (1968) (Ver Fig. 12), la cual se basa en el porcentaje de los siguientes componentes para los granos:

- Cuarzo (Q), de tipo Mono o Policristalino.
- Feldespatos (F), incluyendo tanto Feldespatos potásicos, como Plagioclasas.
- Líticos (R), o fragmentos de roca que puedan ser identificados como tales.

Cuando el porcentaje de matriz en las areniscas supera el 15%, se emplea la nomenclatura de Dott (1964), en la cual se agrega el prefijo “Grauvaca” a la clasificación composicional que se haya realizado con Folk (1968). Cabe anotar que para el siguiente estudio, se hará referencia a “Arenisca Esparítica”, cuando el porcentaje de cemento esparítico supera el 10%. En el caso contrario, se hablara de “Arenisca Ligeramente Esparítica”.



**Figura 12.** Clasificación de Areniscas según el porcentaje de sus componentes: (A) Clasificación con tres componentes principales de Folk [1968]; (B) Clasificación incluyendo grano y matriz, de Dott [1964]. [Tomado de Berg, 1986].

### 4.1.3. ESTRUCTURAS

Las estructuras sedimentarias son cambios en la distribución de los elementos texturales y/o composicionales de la roca, ocurridos cuando esta era aun sedimento. De acuerdo con la metodología empleada por Berg (1986), existen dos grandes clases de estructuras sedimentarias: las *Estructuras Sedimentarias Primarias*, formadas durante la depositación de los sedimentos por los procesos físicos que actúan en el ambiente de depositación, y las *Estructuras Sedimentarias Secundarias*, desarrolladas posteriormente a la depositación de los sedimentos pero antes de su litificación, por factores físicos como la gravedad ó biogénicos como la construcción madrigueras.

- **ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS:**

Para describir las estructuras sedimentarias primarias, se emplean dos terminologías: *La Terminología Cualitativa* que define su orientación espacial, y *La Terminología Cuantitativa* que se mide su espesor o espaciamiento.

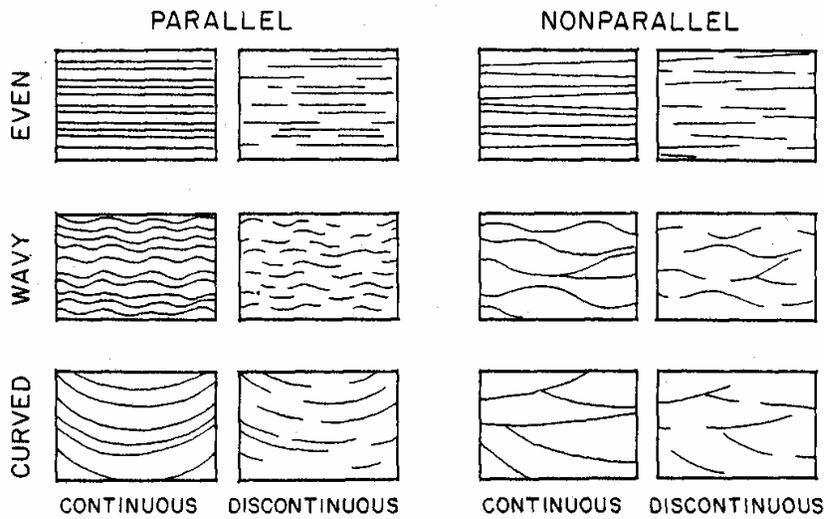
Cuantitativamente hablando, McKee & Weir (1953) en Berg (1986), definen a “*Estrato*” como la unidad básica o capa sencilla en una roca estratificada. De esta forma debe referirse a “*Laminación*”(Lamination) cuando los estratos tienen un espaciamiento igual o inferior a 1cm, y a “*Capas*” (Bedding) cuando este es mayor a 1cm (Ver Tabla 2). Por otra parte, cualitativamente, si los estratos forman ángulo con la aptitud de la unidad litológica que los contiene, se dice que esta presenta “*Estratificación Cruzada*”.

TERMINO PARA ESTRATIFICACION	TERMINO PARA ESTRATIFICACION CRUZADA	LIMITE SUPERIOR DEL ESPACIAMIENTO
Capas muy gruesas	Capas cruzadas muy gruesas	Mayor a 120 cm.
Capas gruesas	Capas cruzadas gruesas	120 cm. (4 ft)
Capas delgadas	Capas cruzadas delgadas	60 cm. (2 ft)
Capas muy delgadas	Capas cruzadas muy delgadas	5 cm. (2 in.)
Laminación	Laminación cruzada	1 cm. (0.33 in.)
Laminación fina	Laminación cruzada fina	2 mm (0.08 in.)

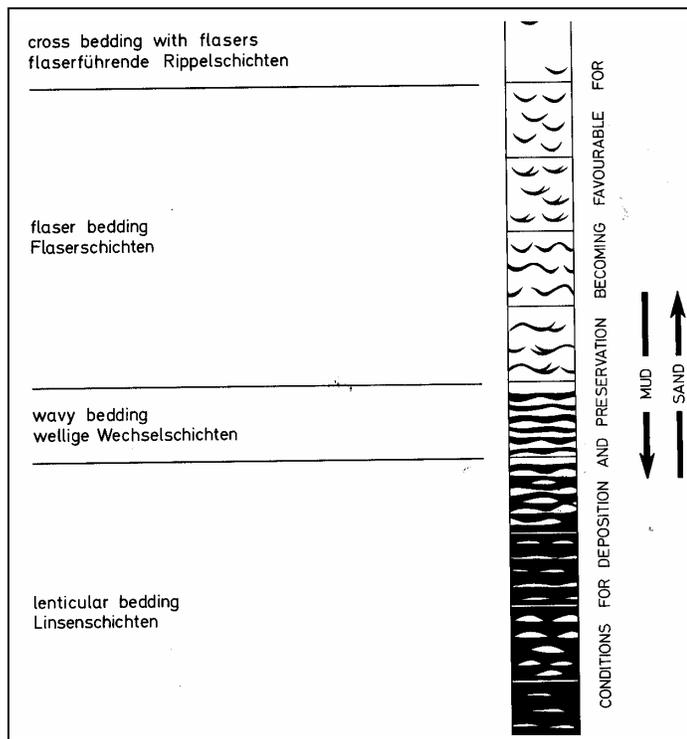
**Tabla 2.** Términos Cuantitativos para describir rocas estratificadas. (Modificado de McKee & Weir, 1953 en Berg, 1986 pp.14)

Dado que los corazones solo ofrecen una sección de 10cm de ancho, y que estos pueden haber sido tomados con cierto ángulo, es posible que las estructuras no sean tan apreciables como en un afloramiento. Por este motivo Campbell (1967) en Berg (1986), propuso una terminología descriptiva para núcleos (Ver Fig. 13) que hace énfasis en el paralelismo y continuidad de la estratificación pero de una manera objetiva, sin involucrar términos interpretativos en el momento de la descripción. Por ejemplo, una estructura de tipo ondulosa-no paralela con un espaciamiento de alrededor de 2cm, puede ser interpretada como una estructura de tipo ondulitas (ripples), la cual es el producto de corrientes de baja velocidad (Berg, 1986).

Para el presente estudio se emplea la nomenclatura de Campbell (1967), complementada con la de Reineck & Wunderlich (1968), en la cual se tiene en cuenta la proporción arena-lodo para nombrar a la estructura (Ver Fig. 14). El resultado del uso de estas dos nomenclaturas se ilustra en las convenciones de la descripción del corazón del Pozo A (Ver Fig. 16 y [Anexo 1](#)).



**Figura 13.** Terminología objetiva para la descripción de estructuras sedimentarias en corazones, según Campbell (1967). Tomado de Berg, (1986) pp.16.



**Figura 14.** Terminología para la descripción de estructuras sedimentarias, según Reineck & Wunderlich (1968). Modificado de Reineck-Singh (1973).

- **ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS SECUNDARIAS:**

Como ya se menciona anteriormente, este tipo de estructuras son las que se desarrollan después de la depositación de los sedimentos, pero antes de la litificación. Consisten en deformaciones de las estructuras sedimentarias primarias, y pueden deberse a la reacomodación física de los sedimentos ó a la acción de organismos que viven o se alimentan en el sedimento o *bioturbación*.

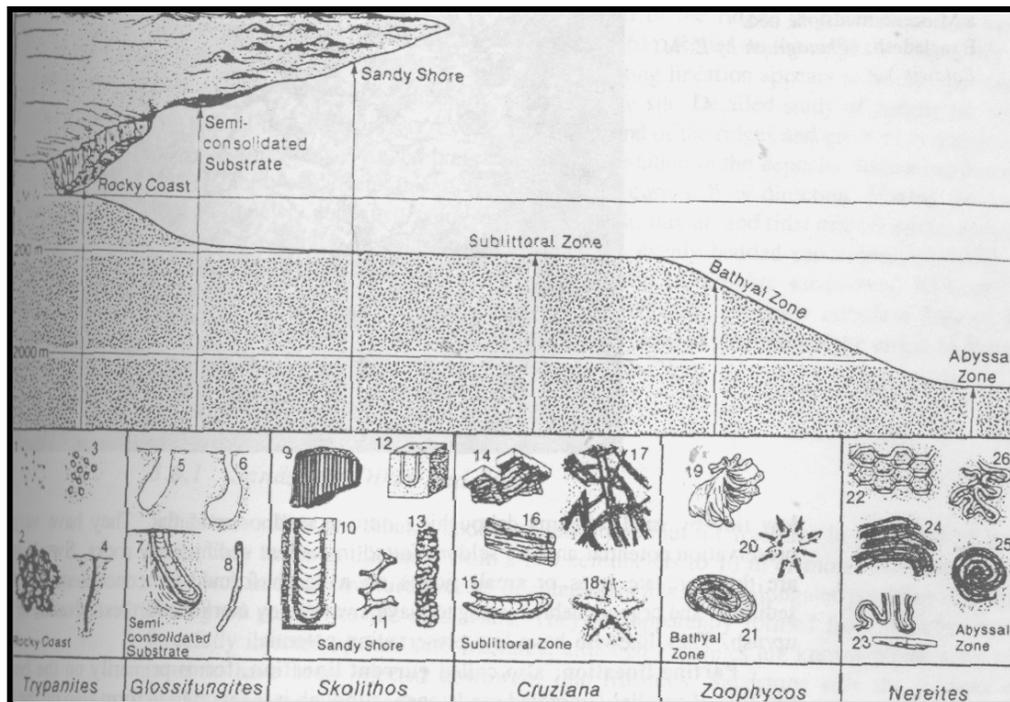
Cuando la deformación es solamente física, usualmente se restringe a un intervalo determinado por encima y por debajo del cual, las estructuras primarias permanecen intactas (Berg, 1986). Dicha deformación puede ser de dos clases:

- ✓ *Ondulante* (Contorted Bedding), cuando se presenta cierto de grado de plegamiento en las estructuras originales (Berg, 1986).
- ✓ *Cizallante* (Sheared Bedding), cuando hay evidencia de movimiento del sedimento a lo largo de superficies planas que pueden ser o no, paralelas a las estructuras originales (Berg, 1986).

Por otra parte, si las estructuras son biogénicas, la deformación no es tan restringida, y dependiendo de su preservación, estas trazas fósiles pueden dar un a idea acerca del ambiente de depositación y la rata de sedimentación (Berg, 1986). En el presente estudio, se tratara a la bioturbación bajo dos parámetros: Intensidad (cualitativamente) y Tipo.

- ✓ *Intensidad de bioturbación*: Cualitativamente se manejaran cinco grados de intensidad (Ver Fig. 18). Dependiendo de si las estructuras sedimentarias primarias se encuentran intactas se dirá que “*No hay evidencia*”; si son fácilmente reconocibles se hablara de *grados “Bajo”* y “*Medio*”; si hay vestigios identificables se hablara de grado “*Alto*”, y finalmente si los vestigios no son identificables, pero muestran que la roca efectivamente tuvo estructuras primarias se hablara de grado “*Muy alto*”.

- ✓ *Tipo de Estructuras biogénicas*: Se emplea la asociación de los icnofósiles a icnofacies realizada por Ekdale et al (1984) en Walker & James (1992) (Ver Fig. 15), solo cuando las trazas fósiles son identificables, lo cual ocurre en el presente estudio cuando el grado de bioturbación es Bajo o Medio y la porción visible del corazón permite apreciar las estructuras adecuadamente. Si el grado de bioturbación es bajo o medio, pero los icnofósiles no son identificables, solo se puede decir si son Verticales (cuando cortan a las estructuras primarias), u Horizontales (cuando siguen paralelamente a una lámina o capa). En los casos en los que el grado de bioturbación es alto o muy alto, los icnofósiles se han cortado entre si de una manera tal, que no es posible definir verticalidad u horizontalidad y por lo tanto, se habla de “Estructura biogénica no identificable” (Ver Fig. 18).



**Figura 15.** Asociación de icnofósiles a icnofacies, según la nomenclatura de Ekdale et al (1984). Tomado de Walker & James (1992) pp. 47.

#### 4.1.4. GRADO DE IMPREGNACIÓN DE ACEITE

El grado de impregnación de aceite en la roca descrito en el presente estudio, es un aspecto cualitativo que ayuda en el amarre del corazón a los registros eléctricos (Ver Fig. 18). Vale la pena aclarar que no es igual al concepto que se maneja en Mud Logging de “Oil Show”, pues los núcleos descritos llevan varios años almacenados, habiendo perdido gran parte del aceite que tenían cuando fueron tomados.

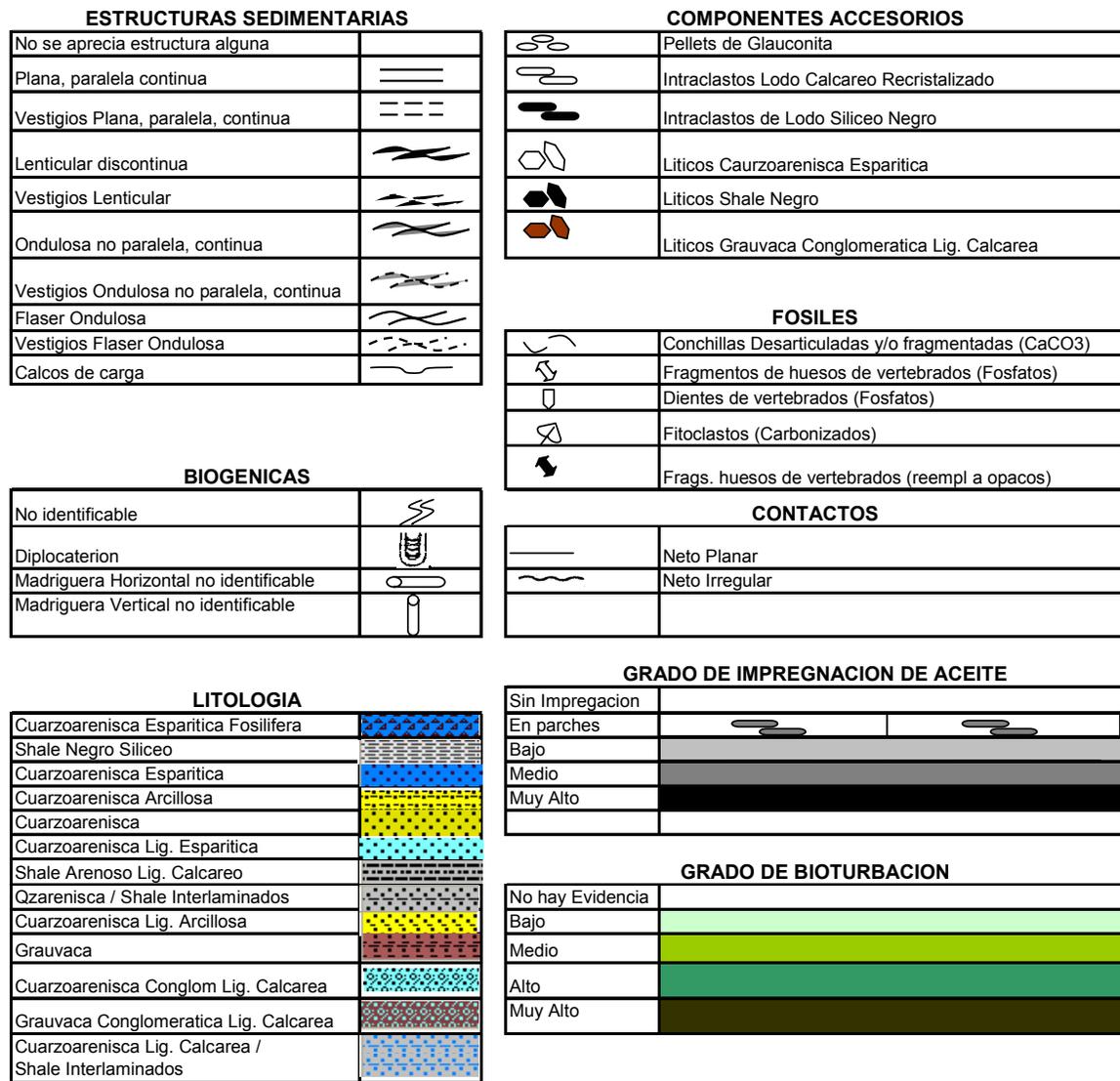


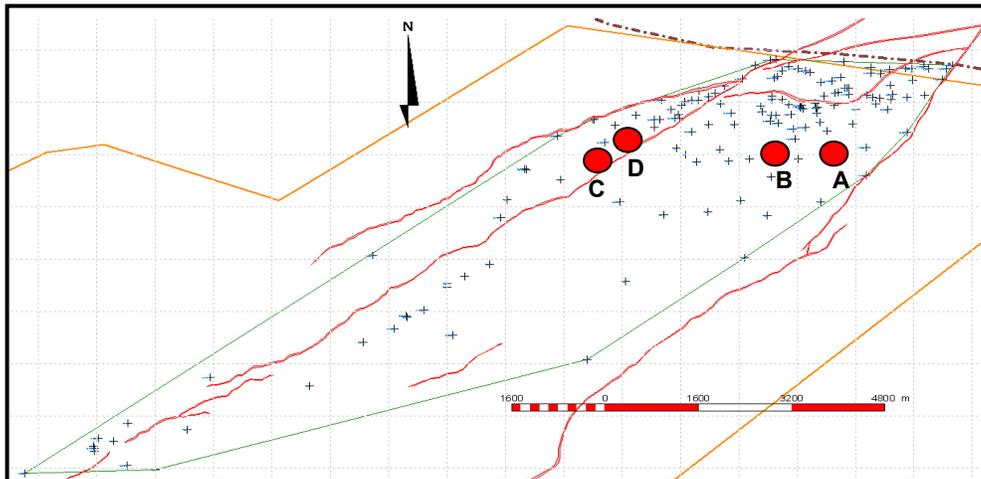
Figura 16. Convenciones para la descripción de los corazones en el presente estudio.

## 4.2. DESCRIPCION LITOLOGICA

Para el presente estudio, se describió un total de 252.5ft de corazones convencionales: 92.5ft del Pozo A, 78ft del Pozo B, 58ft del Pozo C, y 24ft del Pozo D. Todos fueron tomados en pozos verticales y abarcan de tope a base el Miembro K1C excepto el Pozo D, el cual solo fue corazonado 24ft dentro de esta unidad.

La descripción litológica se realizó teniendo en cuenta tres parámetros: Composición, Textura y Estructuras. Como dato complementario, se incluye el grado de impregnación de aceite en las arenas. Dicha descripción se ilustra en columnas litoestratigráficas a escala 1:10 (Ver Anexos 1 a 4). Cabe anotar, que las siguientes descripciones no muestran la definición de facies y asociaciones de facies, pues estas se llevarán a cabo en la fase de interpretación.

Posteriormente a la descripción macroscópica, se seleccionaron puntos de interés en todos los corazones, tanto para los aspectos diagenéticos del Miembro K1C, como para refinar textura y composición. De estos puntos, se elaboraron en total 16 secciones delgadas, las cuales se describen en el capítulo de Petrografía y diagénesis.



**Figura 17.** Localización de los pozos corazonados (A, B, C y D) que contienen al Miembro K1C.

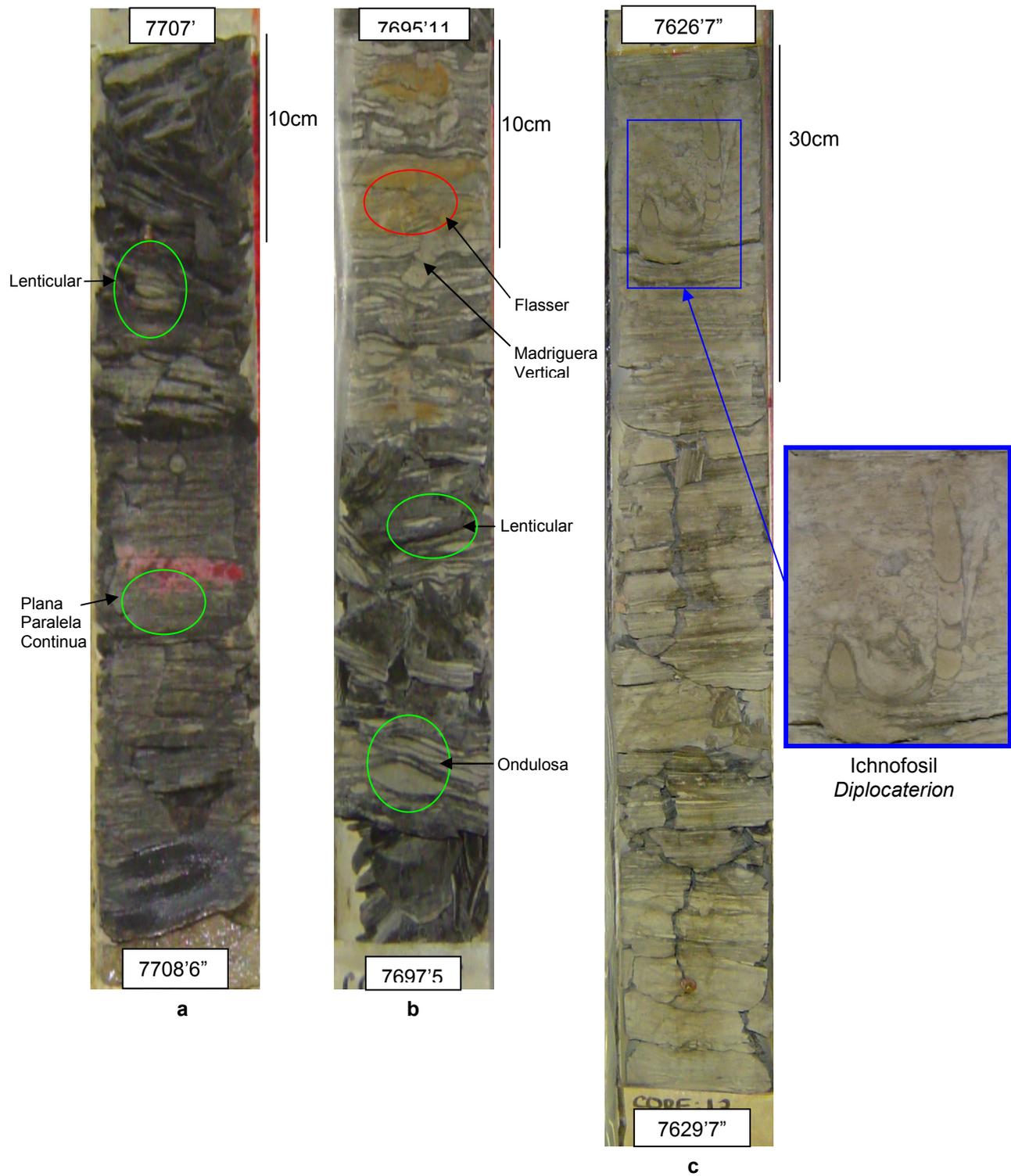
#### 4.2.1. Pozo A

El Miembro Cretácico K1C en el Pozo A, localizado al Noreste de Cravo Norte (Ver Fig. 17) y con un espesor de 92.5ft, consiste principalmente en las siguientes litologías, cuya descripción detallada se encuentra en el [Anexo 1](#):

- Shales silíceos.
- Interlaminaciones de shale con cuarzoareniscas arcillosas.
- Cuarzoareniscas arcillosas y ligeramente arcillosas.
- Cuarzoareniscas limpias.
- Cuarzoareniscas con cemento esparítico.

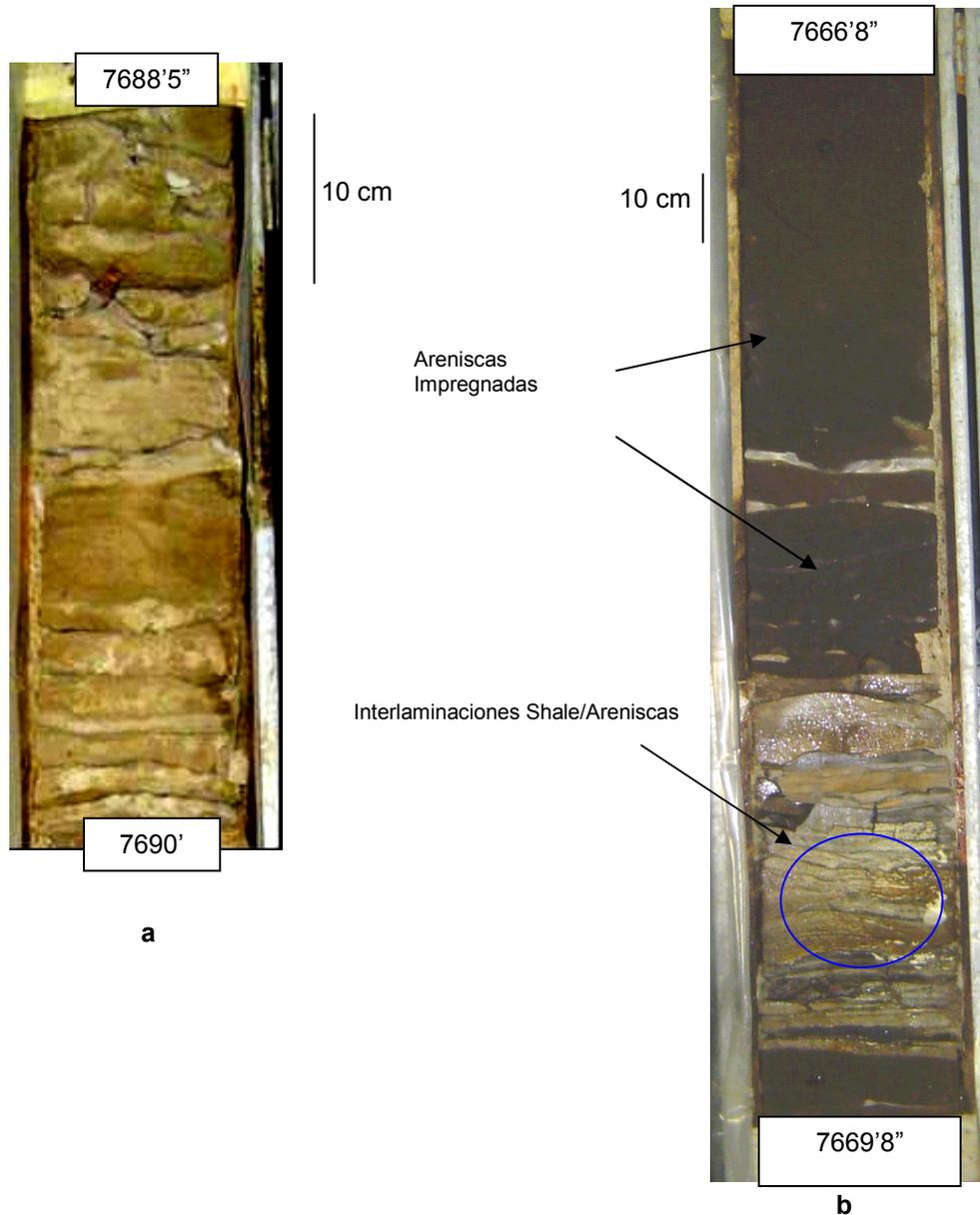
Los shales silíceos (localmente arenosos y calcáreos), generalmente presentan laminación de tipo plana-paralela-continua, sin evidencias de bioturbación (Ver Fotog. 1a). Las interlaminaciones shale/arenisca, se dan con un espaciamiento de 10 a 5 mm, entre shales negros silíceos y cuarzoareniscas arcillosas muy finas (en ocasiones ligeramente calcáreas) con longitudes de onda de 5-15cm y amplitudes de 1-3cm, formando estructuras tipo flaser, ondulosa y lenticular (Ver Fotog. 1b), las cuales se ven afectadas por un bajo a moderado grado de bioturbación. Las madrigueras son horizontales y verticales no identificables, excepto a 7626'7" (Ver Fotog. 1c y [Anexo 1](#)), en donde se identificó un ejemplar de *Diplocaterion* (Ekdale et al, 1984; en Walker & James, 1992).

Las cuarzoareniscas arcillosas y ligeramente arcillosas (de finas a muy finas) exhiben generalmente estructura flaser en capas delgadas a muy delgadas (espaciamiento de los flasers de lodo 5-20cm) y están de moderada a intensamente bioturbadas (Ver Fotog. 2a). Localmente hay intervalos de grauvacas conglomeráticas. Por su parte, las cuarzoareniscas "limpias" (0-5 % de matriz), con un tamaño de grano predominantemente fino, generalmente se encuentran poco o nada bioturbadas (Ver Fotog. 2b).

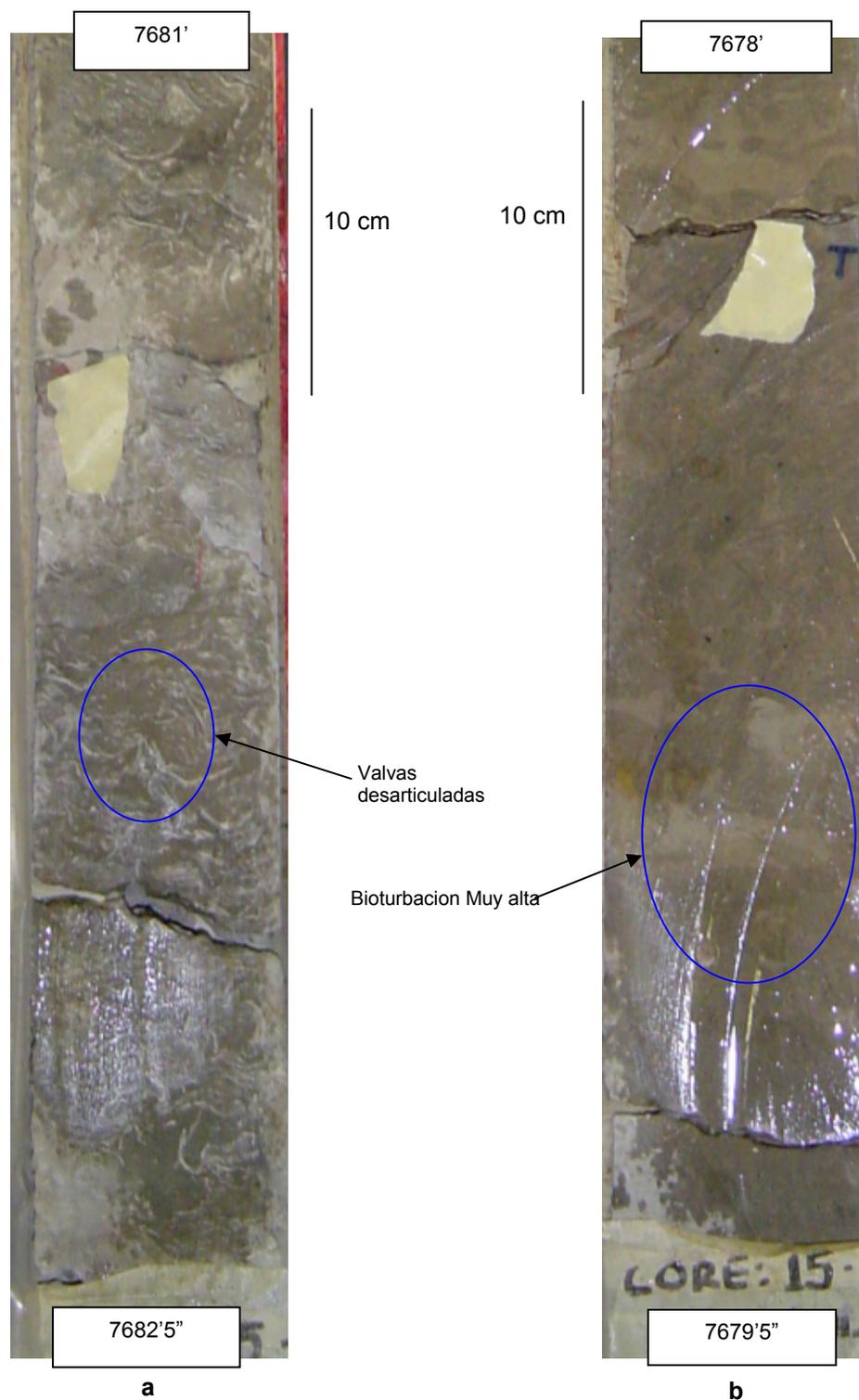


**Fotografía 1.** Fotografías representativas del corazón del Miembro Cretácico K1C, en el Pozo A. (a) Shales silíceos. (b) Interlaminaciones de shale con cuarzoareniscas arcillosas. (c) Ichnofósil *Diplocaterion*, en Interlaminaciones de shale con cuarzoareniscas ligeramente calcáreas.

Las cuarzoareniscas con cemento esparítico, cuyo tamaño de grano va de fino a muy fino, son variadas. Las mas cementadas son generalmente conglomeráticas (por el contenido fósil) y sin estructuras (Ver Fotog. 3a), o ligeramente fosilíferas y casi completamente homogenizadas por la bioturbación (Ver Fotog. 3b). Localmente las areniscas son ligeramente esparíticas y fosilíferas, pero en general, con un alto grado de bioturbación.



**Fotografía 2.** Fotografías representativas de las cuarzoareniscas en el corazón del Pozo A. (a) Areniscas arcillosas y ligeramente arcillosas. (b) Areniscas limpias.



**Fotografía 3.** Fotografía representativa de las cuarzoareniscas esparíticas, en el corazón del Pozo A. (a) Fotografía de las areniscas fosilíferas sin estructuras. (b) Fotografía de las areniscas ligeramente fosilíferas altamente bioturbadas.

#### 4.2.2. Pozo B

El Pozo B esta localizado a 993m al Noroeste del Pozo A (Ver Fig. 17) y contiene 78ft del Miembro Cretácico K1C con litologías similares a las del Pozo A, pero en general mucho menos consolidadas. Por lo tanto, las muestras están a menudo disgregadas y no permiten apreciar estructuras. Dado que hay intervalos no recuperados mediante corazonamiento, la descripción y el amarre a registros se complemento con datos de descripción de ripios (Ver [Anexo 2](#)). Las litologías encontradas en el corazón del Pozo B, son:

- Shales silíceos.
- Interlaminaciones de shale con cuarzoareniscas arcillosas.
- Cuarzoareniscas ligeramente arcillosas.
- Cuarzoareniscas con cemento esparítico.

Los shales silíceos también localmente arenosos y calcáreos, son prácticamente idénticos a los del Pozo A, pues poseen laminación plana-paralela-continua y bioturbación nula (Ver Fotog. 4a). Las interlaminaciones shale/arenisca también se presentan, pero la disgregación del núcleo no permite apreciar sus estructuras.

Las cuarzoareniscas en este corazón, son muy finas y ligeramente arcillosas (localmente son finas y arcillosas), y según los informes de Mud Logging presentaron buenas muestras de aceite cuando fueron perforadas. Están poco consolidadas, pues los pocos intervalos que fueron recuperados, están completamente disgregados.

Las cuarzoareniscas esparíticas son generalmente fosilíferas, de grano muy fino y sin estructuras, aunque localmente hay laminación (Ver Fotog. 4b). Lo único que varia es la intensidad de la cementación (ligera a fuertemente cementadas).



**Fotografía 4.** Fotografías representativas del corazón del Pozo B. (a) Shales negros, silíceos. (b) Cuarzoareniscas esparíticas.

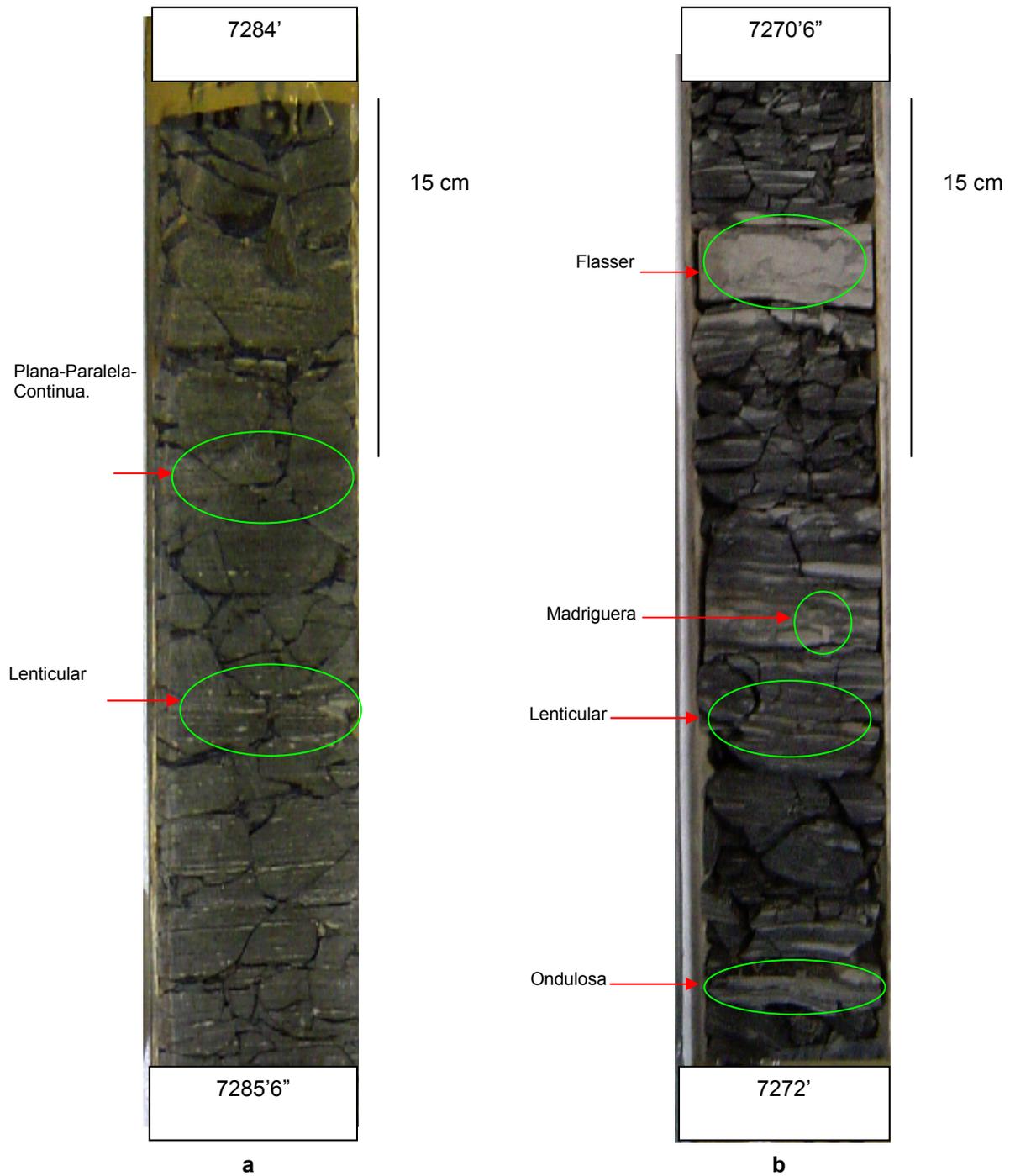
### 4.2.3. Pozo C

El Pozo C esta localizado a 2624m al Suroeste del Pozo B (Ver Fig. 17) y el Miembro Cretácico K1C esta contenido en 58ft de corazón (descrito detalladamente en el [Anexo 3](#)), el cual consiste principalmente en:

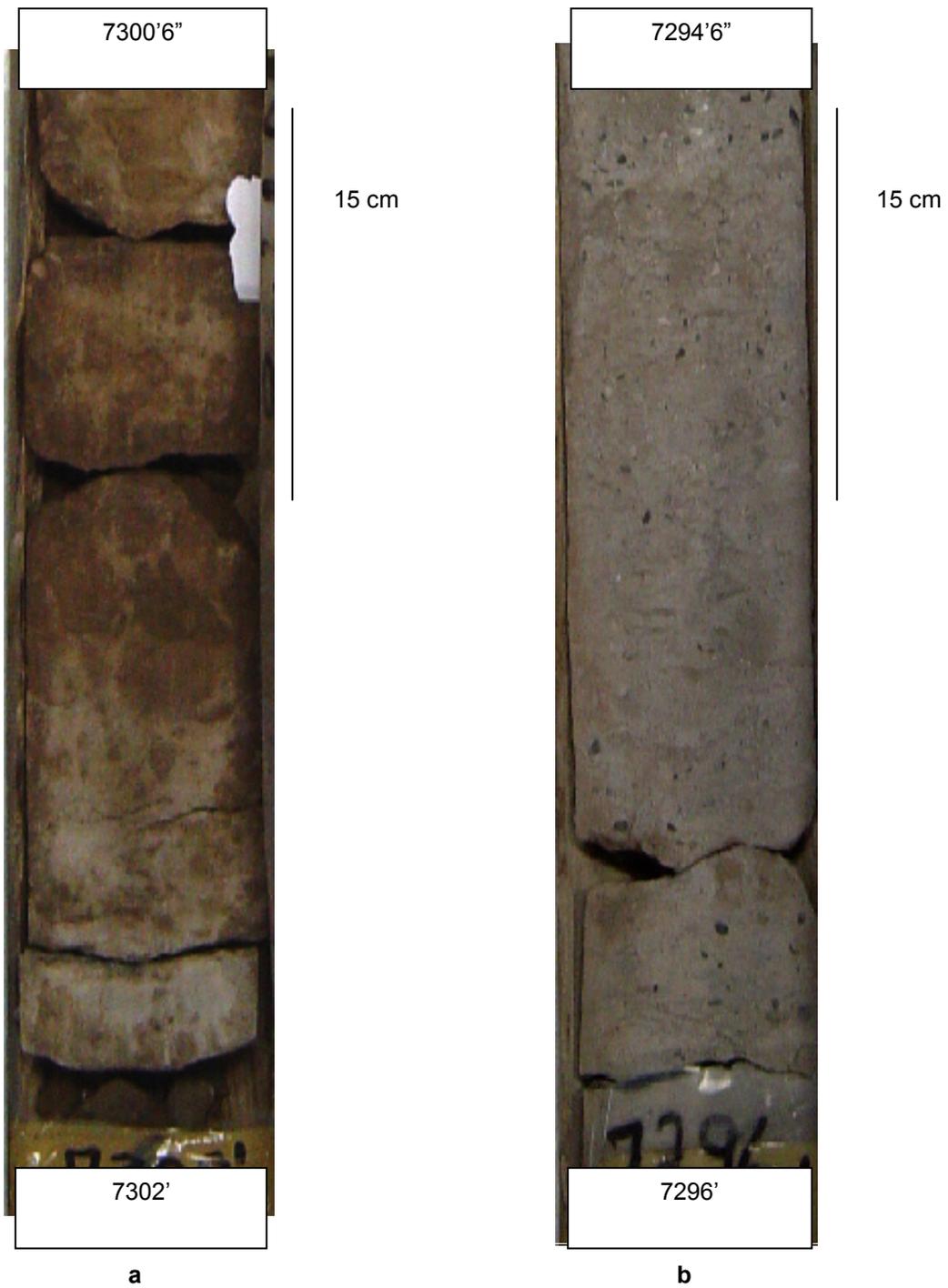
- Shales silíceos.
- Interlaminaciones de shale con cuarzoareniscas arcillosas.
- Cuarzoareniscas arcillosas y ligeramente arcillosas.
- Grauvacas.

Los shales silíceos presentan laminación de tipo plana-paralela-continua, y no se encuentran bioturbados (Ver Fotog. 6a), pero el contenido de partículas calcáreas tamaño arena muy fina, es mas frecuente que en los Pozos A y B (Ver [Anexo 3](#)). Las interlaminaciones shale/arenisca, solo se diferencian de las del Pozo A, en que la ligera cementación esparítica de la arenas es menos frecuente, pues las estructuras flasser, ondulosa y lenticular (Ver Fotog. 6b) también están de escasa a moderadamente bioturbadas.

Las cuarzoareniscas arcillosas y ligeramente arcillosas (de finas a muy finas) están por lo general intensamente bioturbadas e impregnadas de aceite (Ver Fotog. 7a). En este pozo son mas abundantes las grauvacas, las cuales son predominantemente de grano fino y conglomeráticas, con una ligera cementación esparítica (Ver Fotog. 7b). En el Pozo C, raramente se encuentran areniscas esparíticas (Ver [Anexo 3](#)).



**Fotografía 6.** Fotografías representativas de los shales silíceos y las interlaminaciones shale/arenisca, en el corazón del Pozo C. (a) Fotografía de los shales silíceos, con algunas interlaminaciones. (b) Fotografía de las interlaminaciones shale/arenisca, mostrando estructuras.



**Fotografía 7.** Fotografías representativas de las areniscas y las grauvacas, en el corazón del Pozo C. (a) Fotografía de las cuarzoareniscas arcillosas y ligeramente arcillosas. (b) Fotografía de las grauvacas conglomeráticas ligeramente calcáreas.

#### 4.2.4. Pozo D

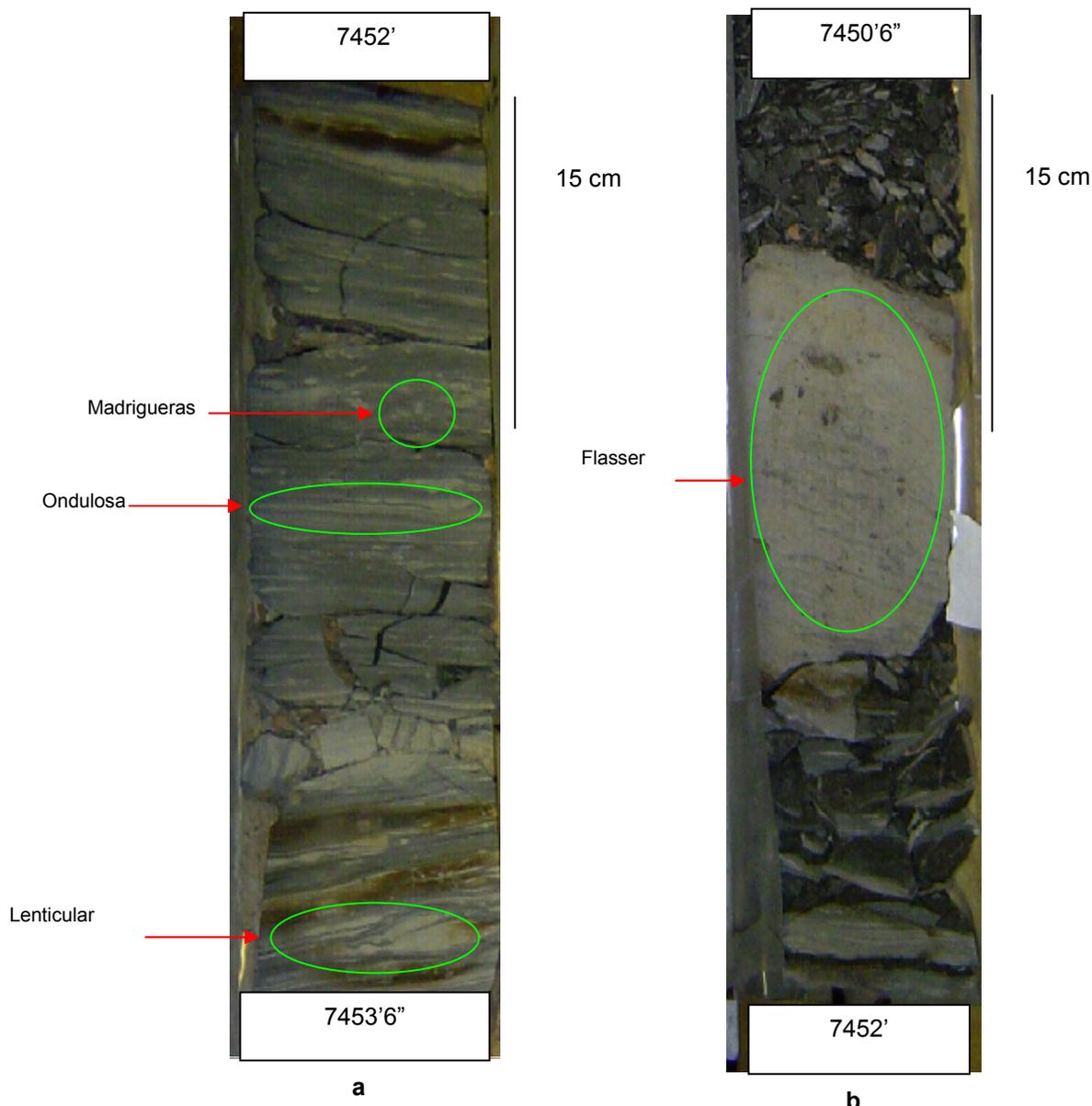
El Pozo D esta localizado a 580m al Noreste del Pozo C (Ver Fig. 17). Solo 24ft fueron corazonados dentro del Miembro Cretácico K1C, por lo cual el resto de esta subunidad fue complementado con el informe de Mud Logging. La sección consiste principalmente en:

- Shales silíceos.
- Interlaminaciones de shale con cuarzoareniscas arcillosas.
- Cuarzoareniscas arcillosas y ligeramente arcillosas.
- Cuarzoareniscas esparfíticas.

En los 24 ft recuperados, los shales silíceos presentan laminación de tipo plana-paralela-continua, y no se encuentran bioturbados (Ver Fotog. 8b). Las interlaminaciones shale/arenisca, al igual que en los demás pozos, muestran estructuras ondulosa, lenticular y flasser (Ver Fotog. 8a y 8b) con una bioturbación de escasa a moderada. Localmente, la matriz arcillosa de las areniscas supera el 15% alcanzando el rango de grauvacas (Ver [Anexo 4](#) y Fotog. 8b). Para el resto de la sección solo se puede inferir si se tienen shales o interlaminaciones arenisca/shale, por la cantidad relativa de arena y shale que se reporta en el informe de Mudd Logging.

Por su parte, las cuarzoareniscas arcillosas y ligeramente arcillosas fueron solo fueron descritas mediante Mud Logging, por lo cual de ellas solo se puede hablar de textura y composición (Ver [Anexo 4](#)). Ambos tipos de areniscas son bien seleccionadas y escasamente cementadas, con trazas de Glauconita y carbón. Solo se diferencian en el tamaño de grano, pues las areniscas ligeramente arcillosas son de grano fino, mientras que las arcillosas son muy finas. Ninguna de estas arenas dio muestras de aceite.

De igual forma, las cuarzoareniscas esparíticas solo fueron identificadas mediante Mudd Logging. Su tamaño de grano es muy fino, y predominan las arenas ligeramente cementadas sobre las fuertemente cementadas, siendo estas últimas las únicas que presentan trazas de carbón. Solo se reportan moderadas muestras de aceite cerca al tope de K1C2 (Ver [Anexo 4](#)).



**Fotografía 8.** Fotografías representativas de los shales silíceos y las interlaminaciones shale/arenisca, en el corazón del Pozo D. (a) Fotografía de las interlaminaciones shale/arenisca. (b) Fotografía de los shales silíceos. *Nota: Las manchas pardas corresponden a óxido, producido por las condiciones de almacenamiento de los corazones.*

## **5. DESCRIPCION PETROGRAFICA**

Para el presente estudio, de los cuatro pozos corazonados, se elaboraron en total 15 secciones delgadas en areniscas: 8 para el Pozo A, 2 para el Pozo B, 4 para el Pozo C, y 1 para el Pozo D, todas preparadas en la empresa Core Laboratories, para Occidental de Colombia.

El principal objetivo de estas muestras es determinar los procesos diagenéticos a los que fue sometido el Miembro K1C desde el momento de su depositación hasta nuestros días. Para ello, se realizó la descripción petrográfica de las secciones delgadas mediante el conteo de 300 puntos por muestra, en la cual se identifican textura, y composición con la nomenclatura de Folk (1968).

### **5.1. TEXTURA Y COMPOSICION**

En general, los intervalos arenosos del Miembro Cretácico K1C son cuarzo areniscas arcillosas de grano muy fino y bien seleccionadas, con tres tipos de cemento: silíceo, esparítico y arcilloso.

El armazón lo conforman partículas de baja esfericidad y redondez moderada a baja, de contactos tangenciales, cuya composición es principalmente cuarzo monocristalino, con muy escasa participación de feldespatos potásicos y líticos sedimentarios. El contenido fósil, de porcentaje variable y cuyo tamaño alcanza el rango grava, consta de fragmentos de conchillas calcáreas, fragmentos de huesos de vertebrados fosfáticos y pellets de Glauconita.

La porosidad de las areniscas del K1C es muy variable y secundaria; su porcentaje puede ir de 0 a 28% y obviamente esta íntimamente relacionada con la el porcentaje de matriz y cemento. El contenido de arcilla total (alogenica y autigénica) generalmente es cercano al 10%, pero puede alcanzar el 30%. Por su parte, el cemento esparítico no siempre esta presente pero puede superar el 20%, mientras que el cemento silíceo es bajo (1-10%), pero muy constante.

Incluso en las arenas más porosas, el contenido de cemento es suficiente para disminuir considerablemente el volumen de espacios vacíos que estas tenían en el momento de la depositación, por lo cual puede concluirse que la porosidad en la arenas del K1C es de tipo secundario.

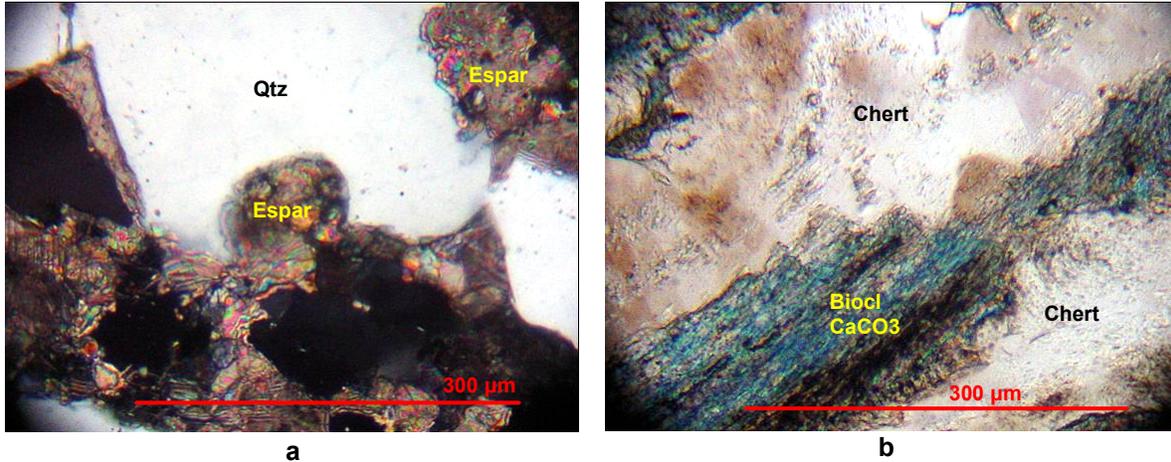
## **5.2. DESCRIPCIONES**

Las descripciones de las muestras, se concentran en la textura y composición. La textura se obtuvo a partir de la medición y conteo de 50 partículas, de los parámetros: tamaño de grano, redondez, esfericidad y contactos. Para la composición, se describieron 300 puntos identificando el tipo de mineral y si es alogénico o autigénico, para distinguir Armazón, Matriz y Cemento.

La presentación de estas descripciones consiste en tablas de porcentajes con los rasgos generales de la muestra, las cuales son complementadas por las fotografías de detalles texturales o composicionales.

## 5.2.1. POZO A

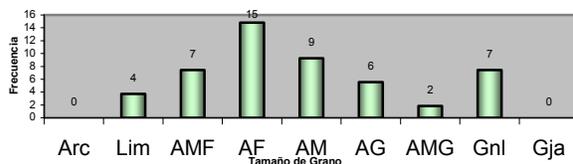
### Profundidad 7620'7"



**Fotografía 9.** Sección delgada del núcleo del Pozo A, a 7620'7". (a) Corrosión de un grano de Cuarzo por parte del espar [Aumento 10X, Nícoles Cruzados]. (b) Reemplazamiento de Chert en un bioclasto calcáreo [Aumento 10X, Nícoles Cruzados].

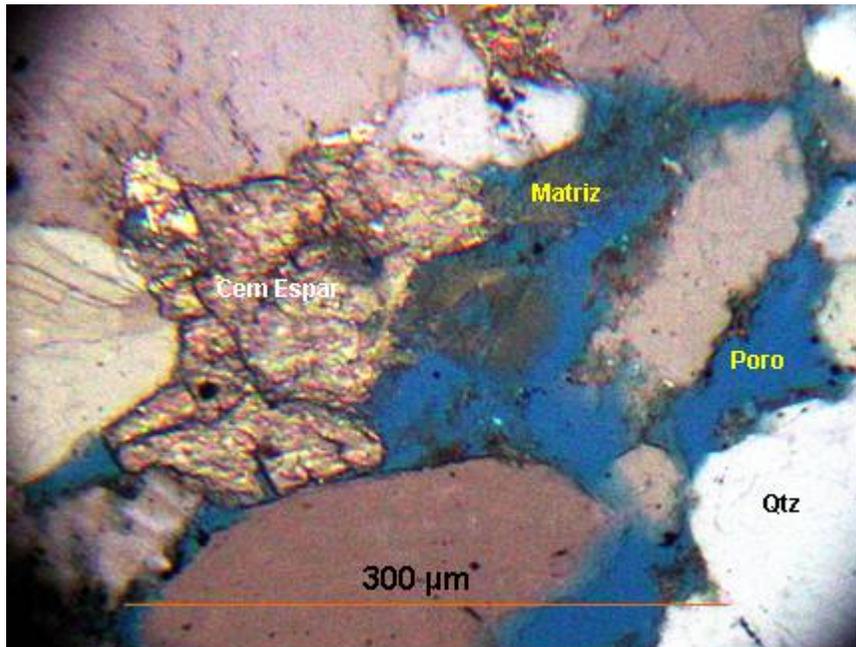
Cuarzoarenisca esparítica Fina a Muy Gruesa y conglomerática. La fracción grava la componen fragmentos de conchillas calcáreas, las cuales se encuentran dispuestas caóticamente y ocasionalmente exhiben reemplazamientos de chert (Ver Foto. 9a). Por su parte, las partículas de cuarzo muestran una corrosión notable por parte del cemento esparítico (Ver Foto. 9b).

TEXTURA	
	%
<b>Armazon</b>	70.0
<b>Selección</b>	Mala
<b>Redondez</b>	Subangulares a Subredondeadas
<b>Esfericidad</b>	No esféricas
<b>Contactos</b>	Tangenciales a Flotantes
<b>Matriz</b>	0.0
<b>Cemento</b>	30.0
<b>Porosidad</b>	0.0



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocrist	47.0
<b>Feldespatos</b>		0.0
<b>Líticos</b>		0.0
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	15.0
	Fosfatos	5.0
	Pellets (Glauconita)	1.3
<b>Minerales Accesorios</b>	Turmalina	0.4
	Zircon	0.3
	Opacos	1.0
<b>Matriz</b>		0.0
<b>Cemento</b>	Calcareo	24.9
	Silíceo	5.0
	Arcillas	0.1

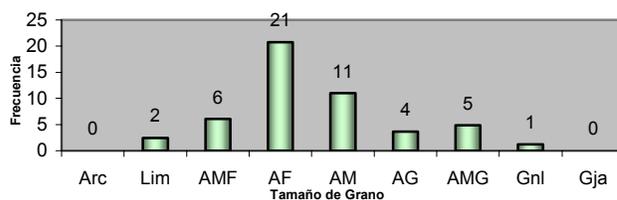
## Profundidad 7623'



**Fotografía 10.** Sección delgada del Pozo A, a 7623'. Aumento 10X, Nícoles Cruzados.

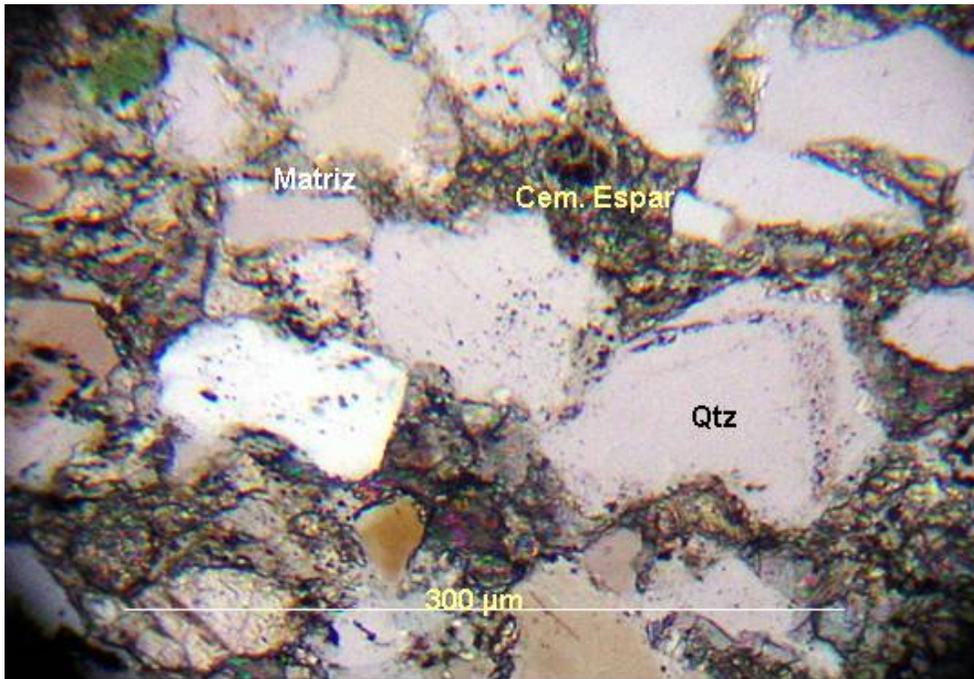
Cuarzoarenisca esparítica fina a muy gruesa, ligeramente conglomerática. Contiene pocos líticos de lodolita arenosa de composición silíceo, cuyos granos son angulares.

TEXTURA	
	%
<b>Amazon</b>	58.7
<b>Selección</b>	Mala
<b>Redondez</b>	Subangulares a Subredondeadas
<b>Esfericidad</b>	No esfericas
<b>Contactos</b>	Tangenciales a Flotantes
<b>Matriz</b>	5.7
<b>Cemento</b>	20.0
<b>Porosidad</b>	15.7



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	59.3
<b>Feldespatos</b>	Potasico	0.4
<b>Líticos</b>	Sedimentario	1.2
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	2.0
	Fosfatos	3.6
	Pellets (Glauconita)	2.0
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	0.3
	Turmalina	0.2
	Zircon	0.2
	Opacos	0.3
<b>Matriz</b>	Arcillas	6.7
<b>Cemento</b>	Calcareo	17.0
	Silíceo	5.8
	Arcillas	1.0

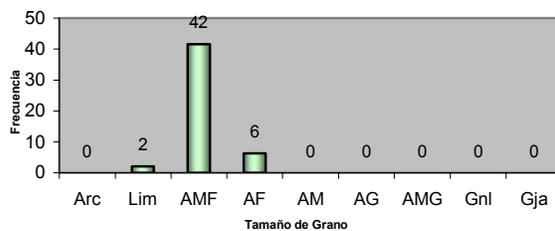
## Profundidad 7634'1"



Fotografía 11. Sección delgada del Pozo A, a 7634'1". Aumento 10X, Nicoles Cruzados.

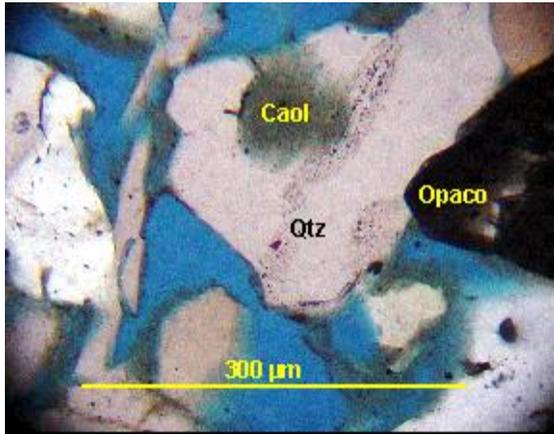
Cuarzoarenisca arcillosa ligeramente feldespática, fuertemente cementada por espar. La arcilla se encuentra distribuida en capas.

TEXTURA	
	%
<b>Amazon</b>	63.8
<b>Selección</b>	Buena
<b>Redondez</b>	Subangulares a Subredondeadas
<b>Esfericidad</b>	No esféricas
<b>Contactos</b>	Tangenciales
<b>Matriz</b>	8.2
<b>Cemento</b>	28.0
<b>Porosidad</b>	0.0

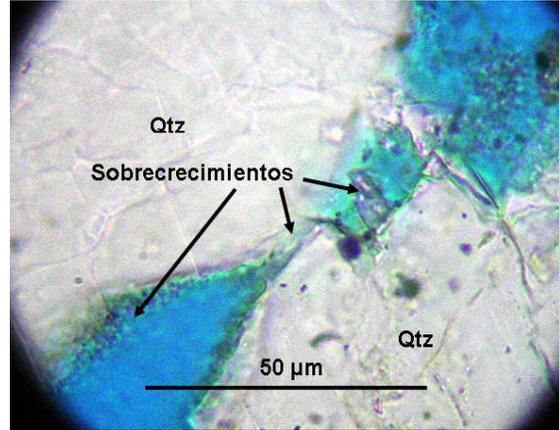


COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	41.5
<b>Feldespatos</b>	Potasico	5.5
<b>Líticos</b>		0.0
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	0.0
	Fosfatos	5.0
	Pellets (Glauconita)	4.8
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	3.0
	Turmalina	1.5
	Zircon	1.2
	Opacos	1.3
<b>Matriz</b>	Arcillas	8.2
<b>Cemento</b>	Calcareo	22.5
	Siliceo	5.0
	Arcillas	0.5

## Profundidad 7640'7"



a

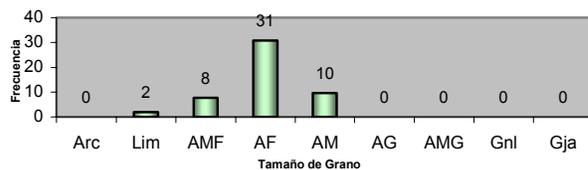


b

**Fotografía 12.** Zonas de la sección delgada del Pozo A, a 7640'7". (a). Caolinita autigénica [Aumento 10X, Nícoles paralelos]. (b). Sobrecrecimientos de Cuarzo [Aumento 40X, Nícoles paralelos]. El color azul corresponde a la porosidad.

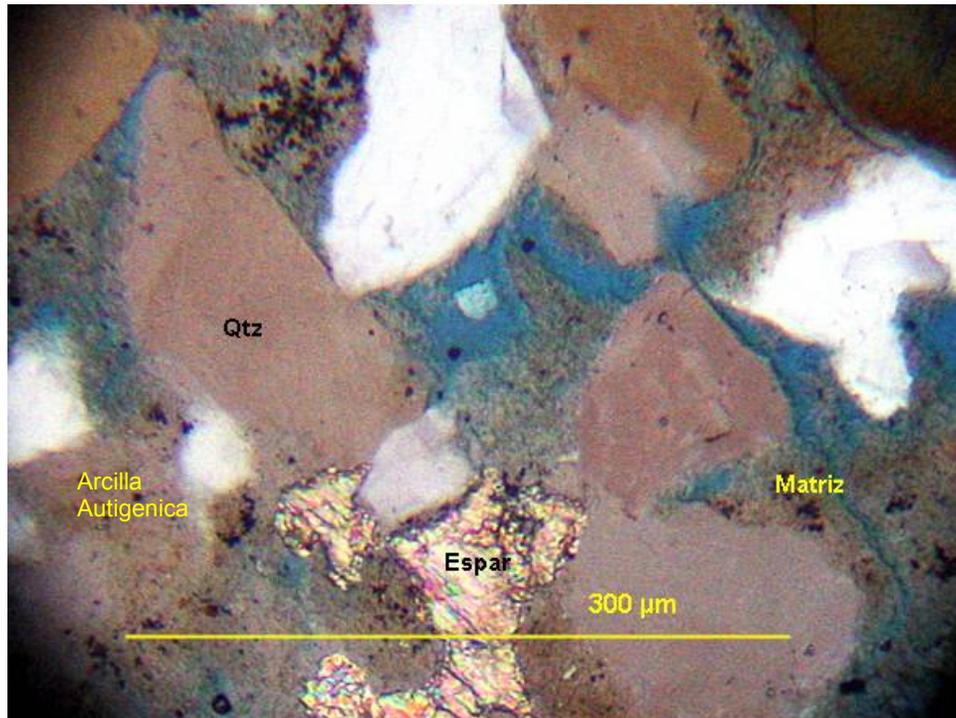
Cuarzo arenisca ligeramente arcillosa y feldespática. En esta muestra se aprecian arcillas autigénicas y sobrecrecimientos de cuarzo, como material cementante. Las arcillas son posiblemente Caolinita, pues se encontraron reemplazando a Feldespatos potásicos (Ver Foto. 12a), mientras que en los contactos tangenciales entre partículas, se encontraron sobrecrecimientos de cuarzo (Ver Foto. 12b).

TEXTURA	
	%
<b>Amazon</b>	62.7
<b>Selección</b>	Buena
<b>Redondez</b>	Subangulares a Subredondeadas
<b>Esfericidad</b>	Esfericas y no esfericas
<b>Contactos</b>	Tangenciales
<b>Matriz</b>	8.7
<b>Cemento</b>	5.7
<b>Porosidad</b>	23.0



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	65.8
<b>Feldespatos</b>	Potasico	6.0
<b>Liticos</b>		0.0
<b>Particulas Biogenicas</b>	Calcareos	0.0
	Fosfatos	5.0
	Pellets (Glauconita)	2.2
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	1.0
	Turmalina	0.5
	Zircon	0.4
	Opacos	0.5
<b>Matriz</b>	Arcillas	11.3
<b>Cemento</b>	Calcareo	0.0
	Siliceo	1.7
	Arcillas	5.6

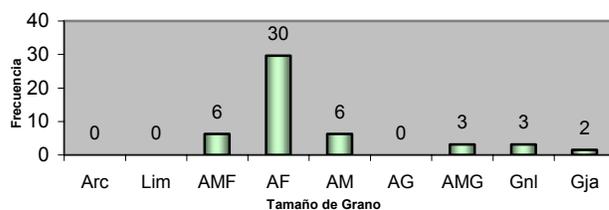
## Profundidad 7659'8"



Fotografía 13. Sección delgada del Pozo A, a 7659'8". Aumento 10X, Nicoles Cruzados.

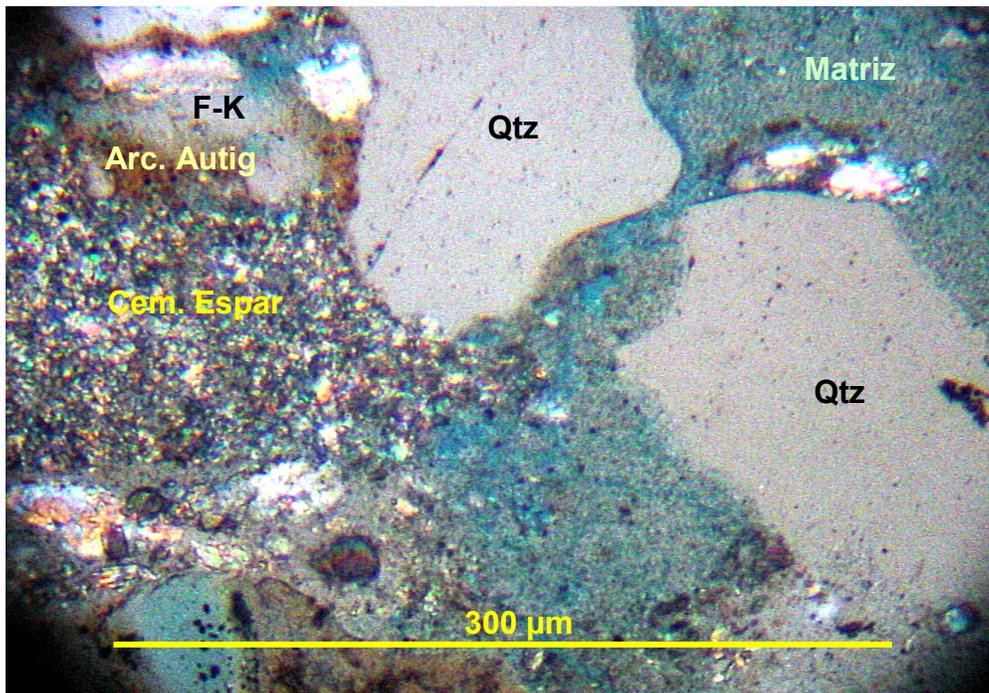
Grauvaca fina ligeramente gruesa y conglomerática, con poco cemento esparítico. Una tercera parte de las arcillas provienen de la alteración de los feldespatos.

TEXTURA	
	%
<b>Amazon</b>	58.0
<b>Selección</b>	Media
<b>Redondez</b>	Subangulares
<b>Esfericidad</b>	Esfericos
<b>Contactos</b>	Tangenciales a flotantes
<b>Matriz</b>	20.0
<b>Cemento</b>	22.0
<b>Porosidad</b>	0.0



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	35.0
<b>Feldespatos</b>	Potasico	1.0
<b>Líticos</b>		0.0
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	0.0
	Fosfatos	18.0
	Pellets (Glauconita)	2.0
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	0.6
	Turmalina	0.4
	Zircon	0.0
	Opacos	1.0
<b>Matriz</b>	Arcillas	20.0
<b>Cemento</b>	Calcareo	8.0
	Siliceo	4.0
	Arcillas	10.0

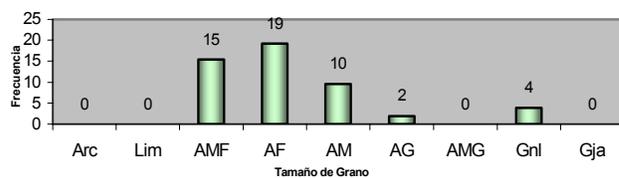
## Profundidad 7665'8"



Fotografía 14. Sección delgada del Pozo A, a 7665'8". Aumento 10X, Nícoles Cruzados.

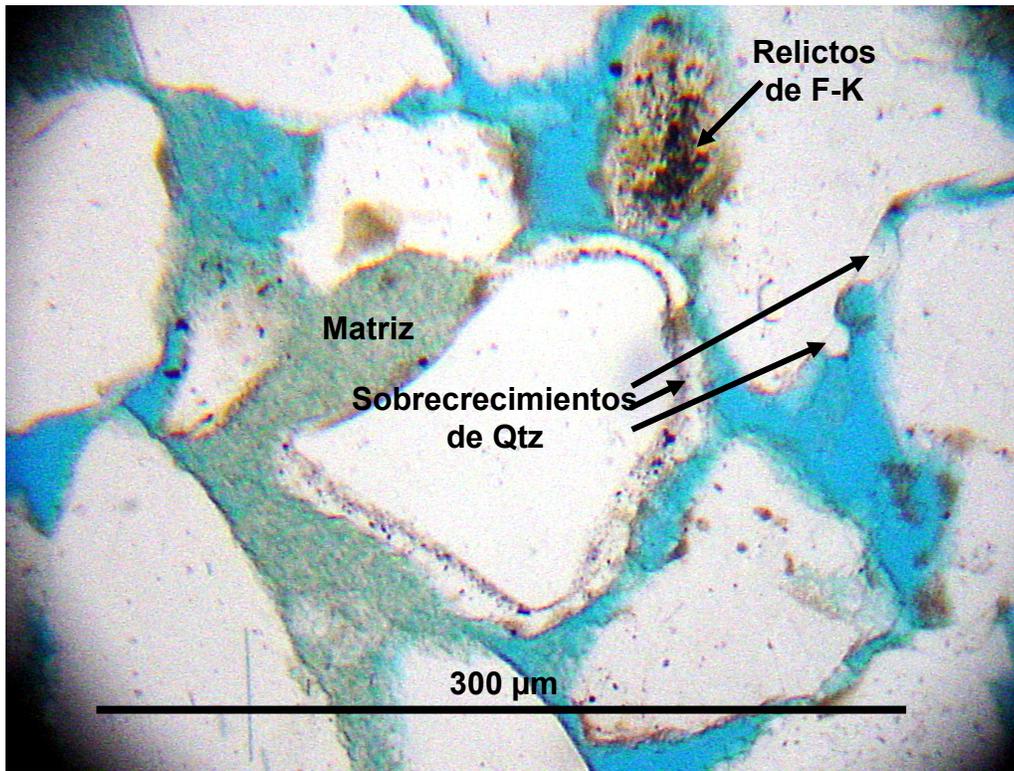
Grauvaca muy fina fosilífera, localmente cementada por espar. La muestra fue tomada en la frontera entre una zona cementada y no cementada. Los bioclastos alcanzan tamaño grava.

TEXTURA	
	%
<b>Armazon</b>	56.0
<b>Selección</b>	Media
<b>Redondez</b>	Subangulares a Subredondeadas
<b>Esfericidad</b>	No esfericas
<b>Contactos</b>	Tangenciales a Flotantes
<b>Matriz</b>	18.0
<b>Cemento</b>	26.0
<b>Porosidad</b>	0.0



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	35.0
<b>Feldespatos</b>	Potasico	3.0
<b>Líticos</b>	Sedimentarios	1.0
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	1.0
	Fosfatos	10.0
	Pellets (Glauconita)	2.0
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	1.0
	Turmalina	0.0
	Zircon	0.0
	Opacos	3.0
<b>Matriz</b>	Arcillas	18.0
<b>Cemento</b>	Calcareo	15.0
	Silíceo	3.0
	Arcillas	8.0

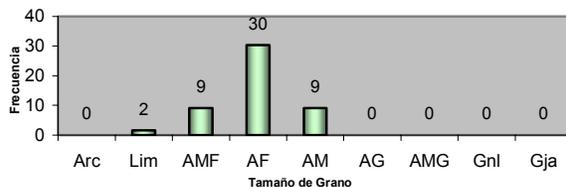
**Profundidad 7671'6"**



**Fotografía 15.** Sección delgada del Pozo A, a 7671'6". Aumento 10X, Nícoles Paralelos.

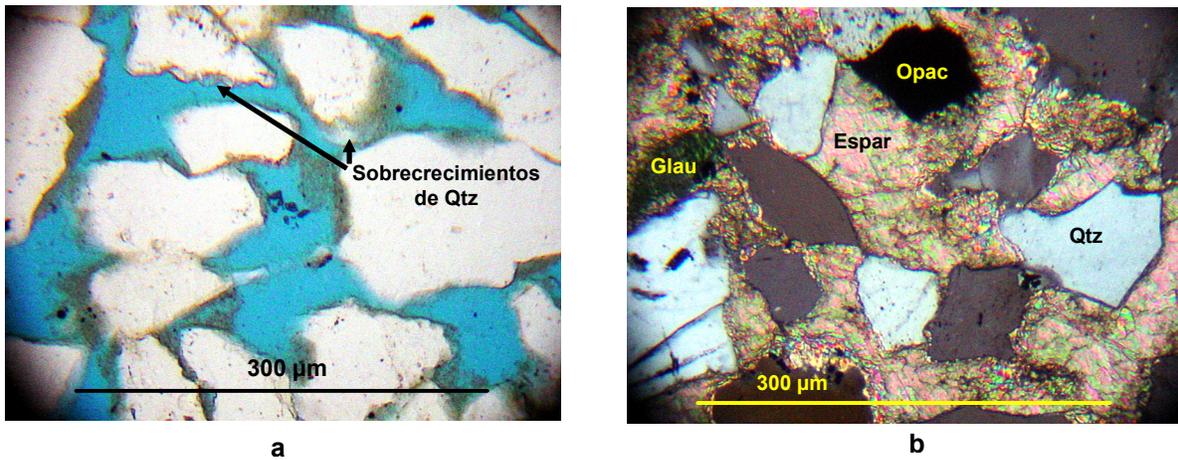
Cuarzoarenisca fina ligeramente feldespática. Su cemento consiste en sobrecrecimientos de cuarzo y algo de arcilla, la cual proviene de la alteración de los feldespatos (Ver Foto. 15). La impregnación de aceite en la muestra es bastante alta (Ver [Anexo 1](#)).

TEXTURA	
	%
<b>Amazon</b>	55.0
<b>Selección</b>	Buena
<b>Redondez</b>	Subangulares
<b>Esfericidad</b>	Esfericos y No Esfericos
<b>Contactos</b>	Tangenciales
<b>Matriz</b>	1.0
<b>Cemento</b>	16.0
<b>Porosidad</b>	28.0



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	64.0
<b>Feldespatos</b>	Potasico	5.4
<b>Líticos</b>		0.0
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	0.0
	Fosfatos	3.0
	Pellets (Glauconita)	1.4
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	0.1
	Turmalina	0.5
	Zircon	0.5
	Opacos	1.5
<b>Matriz</b>	Arcillas	1.4
<b>Cemento</b>	Calcareo	0.0
	Siliceo	13.0
	Arcillas	9.2

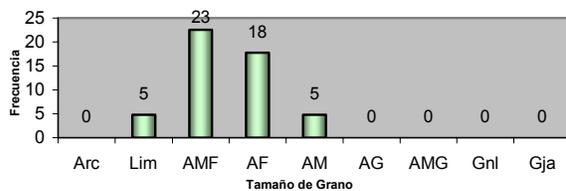
## Profundidad 7692'7"



**Fotografía 16.** Zonas de la sección delgada del Pozo A, a 7692'7". (a) Zona con impregnación de aceite [Aumento 10X, Nícoles Paralelos]. (b) Zona con cementación esparítica [Aumento 10X, Nícoles Cruzados]

Cuarzoarenisca muy fina ligeramente feldespática, cuyo cemento consiste en sobrecrecimientos de cuarzo, arcilla autígena y localmente, en espar. La mayor parte de las arcillas, son autígenas.

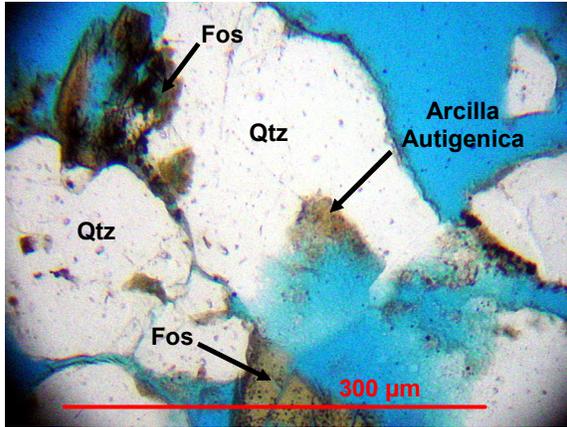
TEXTURA	
	%
<b>Armazon</b>	62.7
<b>Selección</b>	Buena
<b>Redondez</b>	Subrondodeadas
<b>Esfericidad</b>	No Esfericas
<b>Contactos</b>	Tangenciales
<b>Matriz</b>	2.0
<b>Cemento</b>	27.2
<b>Porosidad</b>	8.1



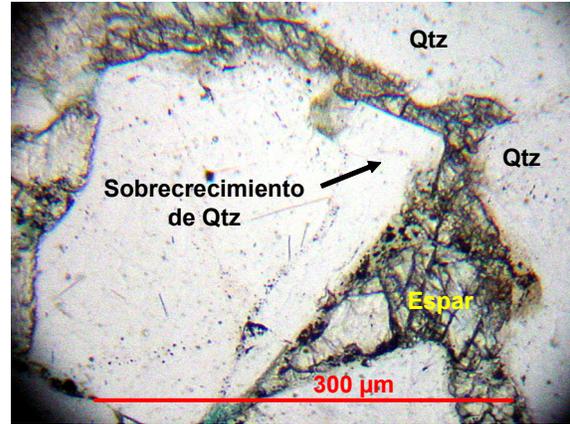
COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	48.0
<b>Feldespatos</b>	Potasico	6.0
<b>Líticos</b>		0.0
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	0.0
	Fosfatos	3.0
	Pellets (Glauconita)	7.0
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	1.1
	Turmalina	1.0
	Zircon	1.1
	Opacos	1.0
<b>Matriz</b>	Arcillas	2.2
<b>Cemento</b>	Calcareo	20.0
	Silíceo	5.2
	Arcillas	4.4

## 5.2.2. POZO B

### Profundidad 7690'



a



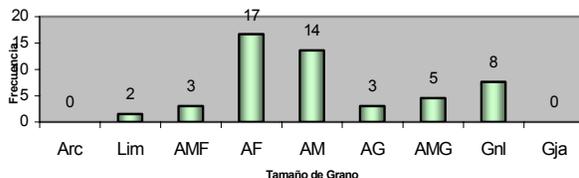
b

**Fotografía 17.** Zonas de la sección delgada del Pozo B, a 7690'. (a) Zona con ausencia de cemento espar [Aumento 10X, Nícoles Paralelos]. (b) Zona con cementación espartítica [Aumento 10X, Nícoles Paralelos].

Cuarzoarenisca muy fina y conglomerática, cementada por espar. Los bioclastos consisten en fragmentos de conchillas calcáreas y huesos de vertebrados, los cuales alcanzan el tamaño de arena muy gruesa a gránulos. La cementación no es uniforme en la muestra, y los sobrecrecimientos de cuarzo presentan signos de corrosión por parte del espar (Ver Foto. 17b).

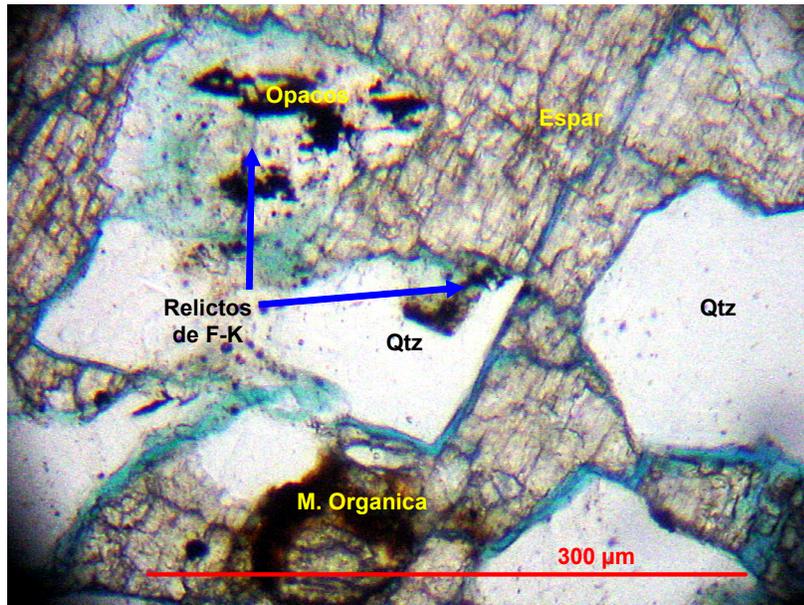
*Nota: El porcentaje de cemento en esta sección, no es representativo del corazón (Ver Anexo 2). La muestra fue tomada en un sector de mayor cementación.*

TEXTURA	
	%
<b>Armazon</b>	59.8
<b>Selección</b>	Mala
<b>Redondez</b>	Subangular a Subredondeadas
<b>Esfericidad</b>	No Esfericidad
<b>Contactos</b>	Tangencial
<b>Matriz</b>	6.0
<b>Cemento</b>	21.4
<b>Porosidad</b>	12.8



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	35.3
<b>Feldespatos</b>	Potasico	2.0
<b>Líticos</b>	Sedimentario	1.0
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcáreos	2.0
	Fosfatos	18.6
	Pellets (Glauconita)	4.9
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	0.0
	Turmalina	0.5
	Zircon	0.4
	Opacos	4.0
<b>Matriz</b>	Arcillas	6.9
<b>Cemento</b>	Calcáreo	18.6
	Silíceo	4.9
	Arcillas	1.0

## Profundidad 7712'

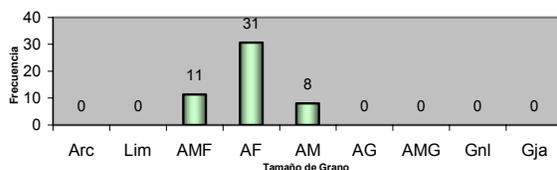


**Fotografía 18.** Sección delgada del Pozo B, a 7712'. [Aumento 10X, Nícoles Paralelos]

Cuarzoarenisca fina, ligeramente feldespática y fosilífera, cementada por espar. Los opacos (¿Óxidos de Hierro?) se presentan como granos, y como coberturas irregulares en las partículas del armazón (Ver Foto. 18). Una tercera parte de las arcillas, proviene de la alteración de los feldespatos potásicos.

*Nota: Debido a la disgregación del corazón (Ver Anexo 2), la sección delgada solo pudo ser tomada en uno de los "parches" mejor cementados. Por lo tanto, este no es el porcentaje representativo de cemento en esa parte del núcleo.*

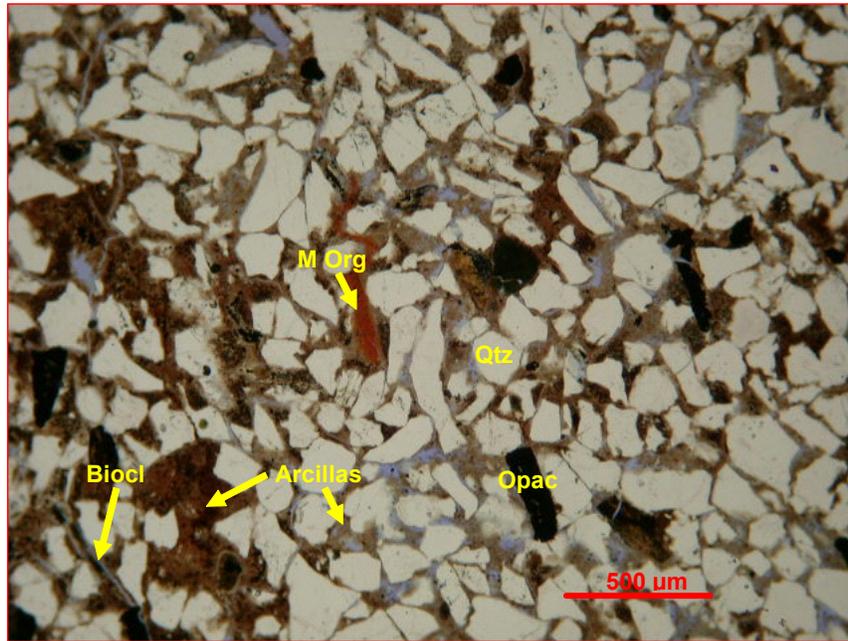
TEXTURA	
	%
<b>Armazon</b>	58.4
<b>Selección</b>	Buena
<b>Redondez</b>	Subangulares
<b>Esfericidad</b>	No Esfericas
<b>Contactos</b>	Tangenciales
<b>Matriz</b>	4.0
<b>Cemento</b>	37.6
<b>Porosidad</b>	0.0



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	39.6
<b>Feldespatos</b>	Potasico	5.0
<b>Líticos</b>		0.0
<b>Partículas Biogenicas</b>	Calcareos (Biocl)	0.0
	Fosfatos (Frag. Huesos Verteb)	3.0
	Pellets (Glauconita)	2.0
<b>Minerales Accesorios</b>	Micas (Biot, Musc)	2.0
	Turmalina	1.0
	Zircon	0.9
	Opacos	5.0
<b>Matriz</b>	Arcillas	3.9
	M. Organica	0.1
<b>Cemento</b>	Calcareo	33.6
	Siliceo	2.0
	Arcillas	2.0

### 5.2.3. Pozo C

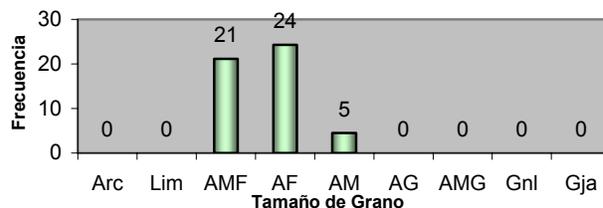
Profundidad 7260'2"



Fotografía 19. Sección delgada del Pozo C, a 7260'2". [Aumento 4X, Nicoles Paralelos]

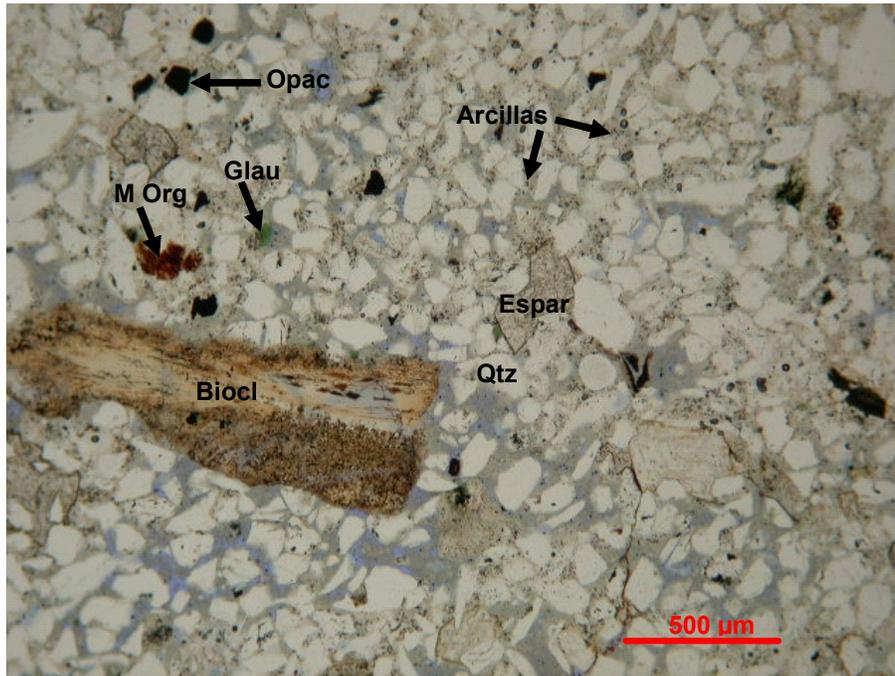
Grauvaca fina, ligeramente feldespática y fosilífera. Los relictos de Feldespatos potásicos que se están alterando a arcillas (¿Caolinita?) sugieren que cerca de la mitad de las arcillas son autígenicas. El cemento silíceo es localizado, y se presenta solo en los contactos interpartículas.

TEXTURA	
	%
<b>Armazon</b>	61.0%
<b>Selección</b>	Buena
<b>Redondez</b>	Subangulares
<b>Esfericidad</b>	No esfericas
<b>Contactos</b>	Tangenciales
<b>Matriz</b>	23.0%
<b>Cemento</b>	14.0%
<b>Porosidad</b>	2.0%



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	46.6%
<b>Feldespatos</b>	Potasico	3.8%
	Plagioclasas	1.0%
<b>Líticos</b>		0.0%
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	0.0%
	Fosfatos	3.8%
	Pellets (Glauconita)	1.0%
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	1.3%
	Turmalina	1.3%
	Zircon	1.0%
	Opacos	1.3%
<b>Matriz</b>	Arcillas	22.0%
	M. Organica	1.0%
<b>Cemento</b>	Calcareo	0.0%
	Silíceo	1.0%
	Arcillas	13.0%

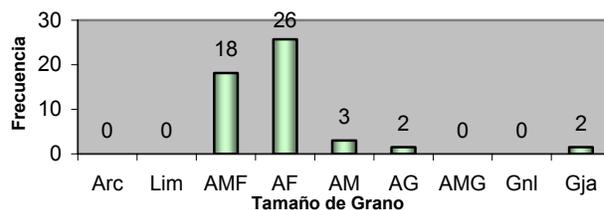
## Profundidad 7295'6"



**Fotografía 20.** Sección delgada del Pozo C, a 7295'6". [Aumento 4X, Nícoles Paralelos].

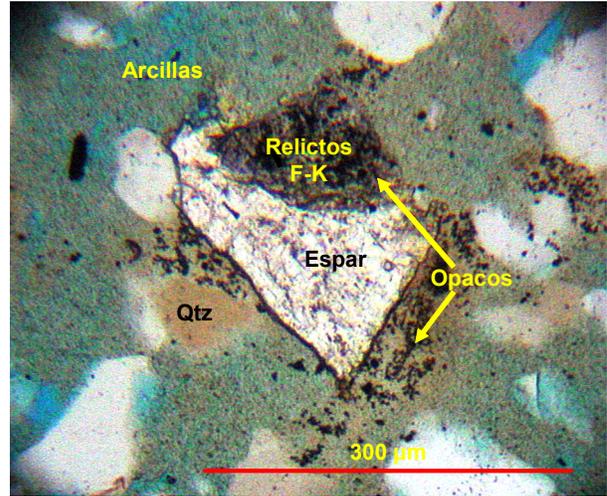
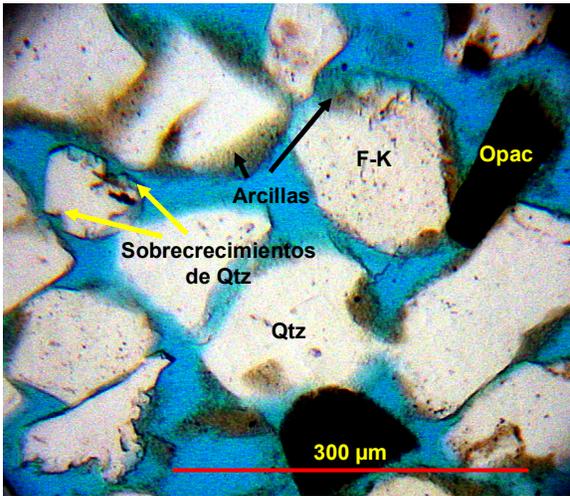
Grauvaca fina fosilífera, ligeramente feldespática y calcárea. Al igual que en la sección anterior, (7260'2") cerca de la mitad de las arcillas son autígenicas. El cemento silíceo y esparítico es localizado.

TEXTURA	
	%
<b>Armazon</b>	56.0%
<b>Selección</b>	Media
<b>Redondez</b>	Subangulares
<b>Esfericidad</b>	No esféricas
<b>Contactos</b>	Tangenciales
<b>Matriz</b>	19.0%
<b>Cemento</b>	23.0%
<b>Porosidad</b>	2.0%



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	34.8%
<b>Feldespatos</b>	Potasico	4.0%
	Plagioclasas	0.0%
<b>Líticos</b>	Sedimentario	0.0%
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	0.0%
	Fosfatos	5.0%
	Pellets (Glauconita)	4.0%
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	2.5%
	Turmalina	2.5%
	Zircon	1.3%
	Opacos	3.0%
<b>Matriz</b>	Arcillas	17.7%
	M. Organica	1.3%
<b>Cemento</b>	Calcareo	4.0%
	Silíceo	1.0%
	Arcillas	18.5%

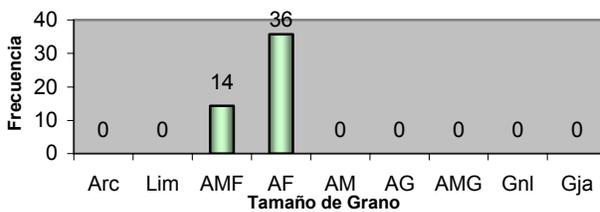
## Profundidad 7301'



**Fotografía 21.** Zonas de la sección delgada del Pozo C, a 7301'. (a) Zona con impregnación de aceite [Aumento 10X, Nícoles Paralelos]. (b) Zona arcillosa y con cemento esparítico localizado [Aumento 10X, Nícoles Cruzados].

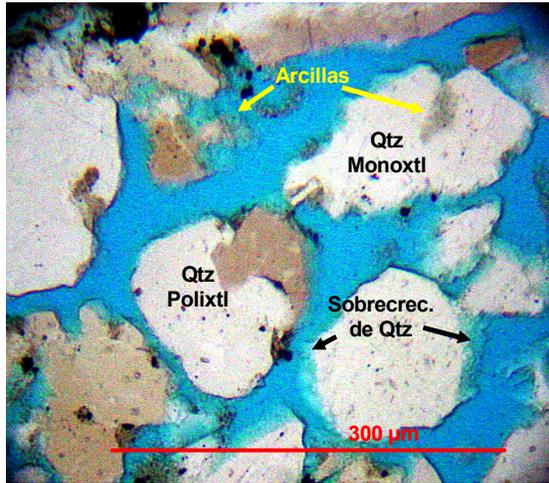
Cuarzoarenisca arcillosa fina y ligeramente feldespática, cementada principalmente por arcillas autígenas. Tanto el cemento silíceo que consiste en sobrecrecimientos de Cuarzo (Ver Foto. 21a), como el calcáreo de tipo esparítico (Ver Foto. 21b), son escasos y localizados.

TEXTURA	
	%
<b>Armazon</b>	51.0%
<b>Selección</b>	Muy Buena
<b>Redondez</b>	Subangulares
<b>Esfericidad</b>	No Esfericas
<b>Contactos</b>	Tangenciales
<b>Matriz</b>	11.0%
<b>Cemento</b>	17.0%
<b>Porosidad</b>	21.0%

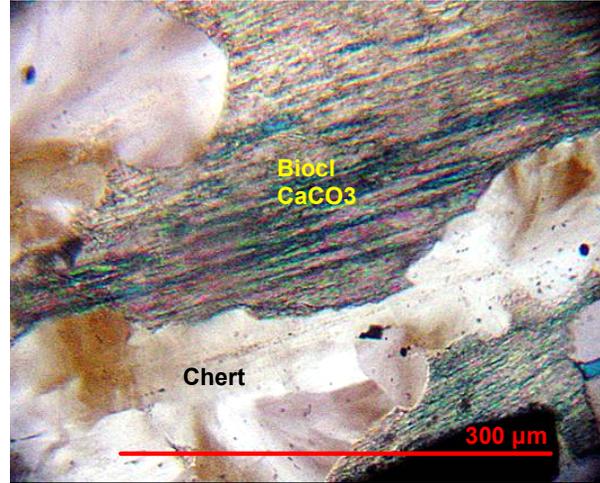


COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	45.6%
<b>Feldespatos</b>	Potasicos	7.6%
	Plagioclasas	0.0%
<b>Líticos</b>		0.0%
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	0.0%
	Fosfatos	2.5%
	Pellets (Glauconita)	1.3%
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	1.3%
	Turmalina	2.5%
	Zircon	1.3%
	Opacos	2.5%
<b>Matriz</b>	Arcillas	12.7%
	M. Organica	1.3%
<b>Cemento</b>	Calcareo	5.1%
	Silíceo	1.3%
	Arcillas	15.2%

## Profundidad 7312'6"



a

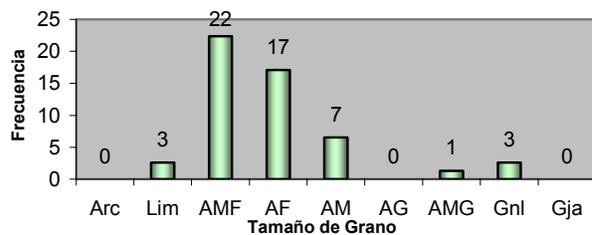


b

**Fotografía 22.** Zonas de la sección delgada del Pozo C, a 7312'6". (a) partículas de cuarzo, mostrando sobrecrecimientos y cavidades llenas de arcilla [Aumento 10X, Nícoles Cruzados]. (b) Fragmento de conchilla calcárea, con reemplazamiento de chert [Aumento 10X, Nícoles Cruzados].

Cuarzoarenisca arcillosa muy fina conglomerática y ligeramente feldespática. Los bioclastos calcáreos alcanzan el tamaño granulos. Su cemento consiste principalmente en arcillas autigénicas, sobrecrecimientos de cuarzo (Ver Foto. 22a) y recristalizaciones esparíticas a partir de los bioclastos calcáreos. Algunos bioclastos calcáreos presentan reemplazamientos de Chert (Calcedonia) (Ver Foto. 22b).

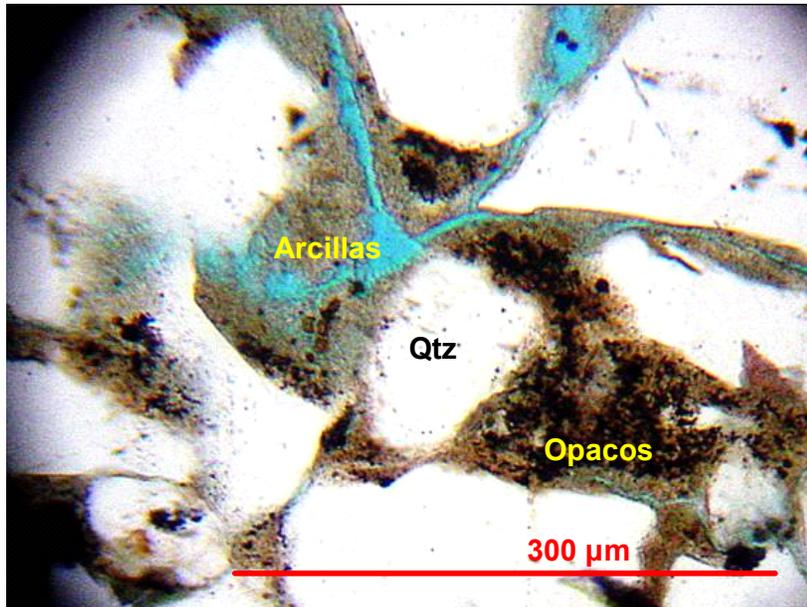
TEXTURA	
	%
<b>Armazon</b>	53.0%
<b>Selección</b>	Mala
<b>Redondez</b>	Subangulares
<b>Esfericidad</b>	No esféricas
<b>Contactos</b>	Tangenciales
<b>Matriz</b>	5.0%
<b>Cemento</b>	16.0%
<b>Porosidad</b>	26.0%



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	46.4%
	Policristalino	0.5%
<b>Feldespatos</b>	Potasico	5.0%
	Plagioclasas	0.0%
<b>Líticos</b>		0.0%
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	4.0%
	Fosfatos	6.9%
	Pellets (Glauconita)	1.7%
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	0.1%
	Turmalina	1.7%
	Zircon	1.7%
	Opacos	3.4%
<b>Matriz</b>	Arcillas	6.9%
	M. Organica	0.0%
<b>Cemento</b>	Calcareo	5.5%
	Siliceo	7.1%
	Arcillas	9.0%

## 5.2.4. Pozo D

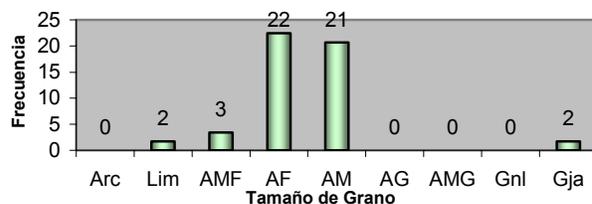
### Profundidad 7446'7"



Fotografía 23. Sección delgada del Pozo D, a 7446'7". Aumento 10X, Nícoles Paralelos.

Grauvaca fina ligeramente fosilífera, cementada por arcilla autigénica y sílice. El cemento silíceo consiste en sobrecrecimientos en los bordes de las partículas de cuarzo, y la arcilla autigénica se contó con base en los relictos de feldespatos potásicos. Localmente hay cemento esparítico.

TEXTURA	
	%
<b>Armazon</b>	53.7%
<b>Selección</b>	Media
<b>Redondez</b>	Angulares a Subangulares
<b>Esfericidad</b>	No esféricas
<b>Contactos</b>	Tangenciales
<b>Matriz</b>	40.0%
<b>Cemento</b>	6.3%
<b>Porosidad</b>	0.0%



COMPOSICION		
	Tipo	%
<b>Qtz</b>	Monocristalino	35.4%
<b>Feldespatos</b>	Potasico	2.5%
	Plagioclasas	0.0%
<b>Líticos</b>		0.0%
<b>Partículas Biogénicas</b>	Calcareos	0.0%
	Fosfatos	5.1%
	Pellets (Glauconita)	1.3%
<b>Minerales Accesorios</b>	Muscovita	0.0%
	Turmalina	0.5%
	Zircon	1.3%
	Opacos	7.6%
<b>Matriz</b>	Arcillas	39.2%
	M. Organica	0.5%
<b>Cemento</b>	Calcareo	0.1%
	Silíceo	1.3%
	Arcillas	5.1%

## 6. AMARRE DE CORAZONES A REGISTROS ELECTRICOS

El amarre que se realizo entre los corazones de los pozos A, B, C y D y sus respectivos registros eléctricos a escala 1:200, se efectuó con ayuda del registro Gamma-Ray corrido sobre el corazón y teniendo en cuenta marcadores claves como grandes contrastes de composición, porosidad o contenido de fluidos, en la litología. En este capitulo, se ilustrara el amarre de los corazones de los pozos descritos a los registros eléctricos escala 1:200 que se corrieron (en hueco abierto) en cada uno de ellos. Las herramientas empleadas en el registro de los pozos en cuestión, son:

- Caliper.
- Spontaneus Potential (SP).
- Gamma Ray (GR).
- Laterolog Deep (LLD).
- Laterolog Shallow (LLS).
- Micro Laterolog (RXOZ)
- Neutron Porosity (NPhi).
- Density Log (Rhob).
- Sonic Log (Delta T).

Dado que las herramientas y el nombre sus correspondientes curvas cambia según el operador y la compañía que registra (a excepción de las extensamente conocidas como SP y Gamma Ray), a continuación se presenta una compilación de las características generales de los registros a los cuales se amarraron los corazones descritos en el presente proyecto.

La resolución vertical de todas las herramientas, es de 2 ft (excepto en RXOZ, que alcanza 1ft) motivo por el cual la impresión mas detallada de sus curvas tiene escala 1:200.

**Caliper:** Mide el diámetro de la abertura del pozo, en pulgadas (inches). Si las paredes del pozo presentan irregularidades o ensanchamientos abruptos, la lectura de todos los registros eléctricos puede verse afectada (Schlumberger, 1989).

**Spontaneous Potential (SP):** Mide el potencial eléctrico natural en milivoltios (mV) producido por la interacción entre el agua de formación de la litología, un lodo de perforación eléctricamente conductivo y litologías impermeables a cationes o aniones, generalmente Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> (Schlumberger, 1989). Cuando la litología consta de shales, la curva tiende hacia el extremo positivo del potencial, mientras que si se ha formado una zona de invasión (como ocurre a menudo en las arenas), la curva tiende hacia el extremo negativo del potencial (Schlumberger, 1989). Su profundidad de investigación horizontal es del orden de pulgadas (3 in aprox.), y su limitación consiste en que no hay una relación directa entre la magnitud de la deflexión de la curva SP y la porosidad o permeabilidad (Schlumberger, 1989).

**Gamma Ray (GR):** Esta herramienta registra la radiactividad total natural (en grados API) que emiten las paredes del pozo, según su concentración de Uranio, Thorio, y Potasio (Schlumberger, 1989). Dado que tales elementos radiactivos tienden a concentrarse en shales y arcillas, se suele interpretar que la cantidad de arcilla en una litología crece proporcionalmente con la lectura de Gamma Ray. Su limitación consiste en que areniscas que contengan tales elementos radiactivos (como las arcosas, por el Potasio) serian interpretadas como shales, y que dado que existen muchas arcillas no radioactivas, el volumen de arcilla calculado a partir de este registro seria siempre menor que el real (Schlumberger, 1989).

- Laterolog Deep (LLD), Laterolog Shallow (LLS), y Micro Laterolog (RXOZ):** Estas son herramientas de resistividad (medida en  $\text{ohm}\times\text{m}$ ), cuyo principio es la medición de la resistencia de las formaciones de las paredes del pozo, cuando se hace circular una corriente eléctrica a través de ellas (Schlumberger, 1989). La corriente solo fluye a través de una litología si su agua de formación contiene electrolitos, tales como sales disueltas. Si la litología no contuviera fluidos intersticiales o estos fueran poco conductivos (como los hidrocarburos), la resistividad sería muy alta, y viceversa. Lo que diferencia a estas herramientas es su profundidad promedio de investigación horizontal: 2-3 in para la Micro Laterolog, 2-3 ft para la LLS y 3-5 ft para la LLD. Estas herramientas son muy susceptibles a las irregularidades en las paredes del pozo (Schlumberger, 1989).
- Neutron Porosity (NPhi):** Es un registro de porosidad, que responde a la concentración de Hidrogeno en la litología de las paredes del pozo, para arrojar una aproximación de la porosidad en porcentaje (Schlumberger, 1989). La herramienta emite neutrones con alta velocidad y según el principio físico de colisiones elásticas, la máxima pérdida de energía ocurre cuando los neutrones emitidos chocan con una partícula de masa igual o muy cercana, los cuales solo pueden ser átomos de Hidrogeno. El instrumento mide entonces, la pérdida de esa energía como indicador de la cantidad de átomos de Hidrogeno presentes en la litología (Schlumberger, 1989). Teniendo en cuenta que el agua y el petróleo tienen la misma cantidad de hidrógenos por unidad de volumen, la cantidad de hidrógenos registrada obedecería a la de los poros saturados de líquido. Las limitaciones de la herramienta saltan a la vista, pues la lectura de hidrógenos cobija a los que forman parte de la composición mineralógica de la roca, motivo por el cual, deben hacerse varias correcciones a la hora de calcular la porosidad (Schlumberger, 1989).

- Density Log (Rhob):** Este es otra herramienta de porosidad, la cual responde a la densidad de electrones en la formación, y que se expresa en unidades de densidad de masa (gr/cc) (Schlumberger, 1989). Su principio consiste en un fuente que bombardea a las paredes del pozo con rayos Gamma, y que mide la cantidad de radiación que es dispersada por los electrones de la formación (Efecto Compton). Dicha dispersión esta relacionada con el numero de electrones en la roca (numero de electrones por centímetro cúbico), y estos a su vez, con la densidad total de la formación (“Bulk Density”). La densidad total depende de la densidad de la roca, de su porosidad y de los fluidos intersticiales, lo cual debe tenerse en cuenta (además de las condiciones de la pared del pozo) para realizar el calculo de porosidad (Schlumberger, 1989).
- Sonic Log (Delta T):** El registro sónico también se usa para determinar la porosidad de la formación, pero esta vez midiendo el tiempo de transito de una onda sonora en su litología en microsegundos ( $\mu\text{sec}$ ) (Schlumberger, 1989). La herramienta esta diseñada para que una onda sonora con un velocidad comprendida entre 6000 y 23000 ft/s viaje verticalmente 1ft desde la fuente hasta el receptor, y así obtener el tiempo de transito o  $\Delta T$  (Schlumberger, 1989). Dicho tiempo de transito depende tanto de las propiedades mecánicas de la mineralogía de la roca como de su porosidad, por lo cual se interpreta que a menor tiempo de transito, menor porosidad y viceversa.

CONVENCIONES AMARRE NUCLEO-REGISTRO	
Cuarzoarenisca Esparitica Fosilifera	
Shale Negro Siliceo	
Cuarzoarenisca Esparitica	
Cuarzoarenisca Arcillosa	
Cuarzoarenisca	
Cuarzoarenisca Lig. Esparitica	
Shale Arenoso Lig. Calcarea	
Qzarenisca / Shale Interlaminados	
Cuarzoarenisca Lig. Arcillosa	
Grauvaca	
Cuarzoarenisca Conglom Lig. Calcarea	
Grauvaca Conglomeratica Lig. Calcarea	
Cuarzoarenisca Lig. Calcarea / Shale Interlaminados	

**Figura 18.** Convenciones de la litología, para el amarre de los corazones descritos a sus correspondientes registros eléctricos.

# POZO A

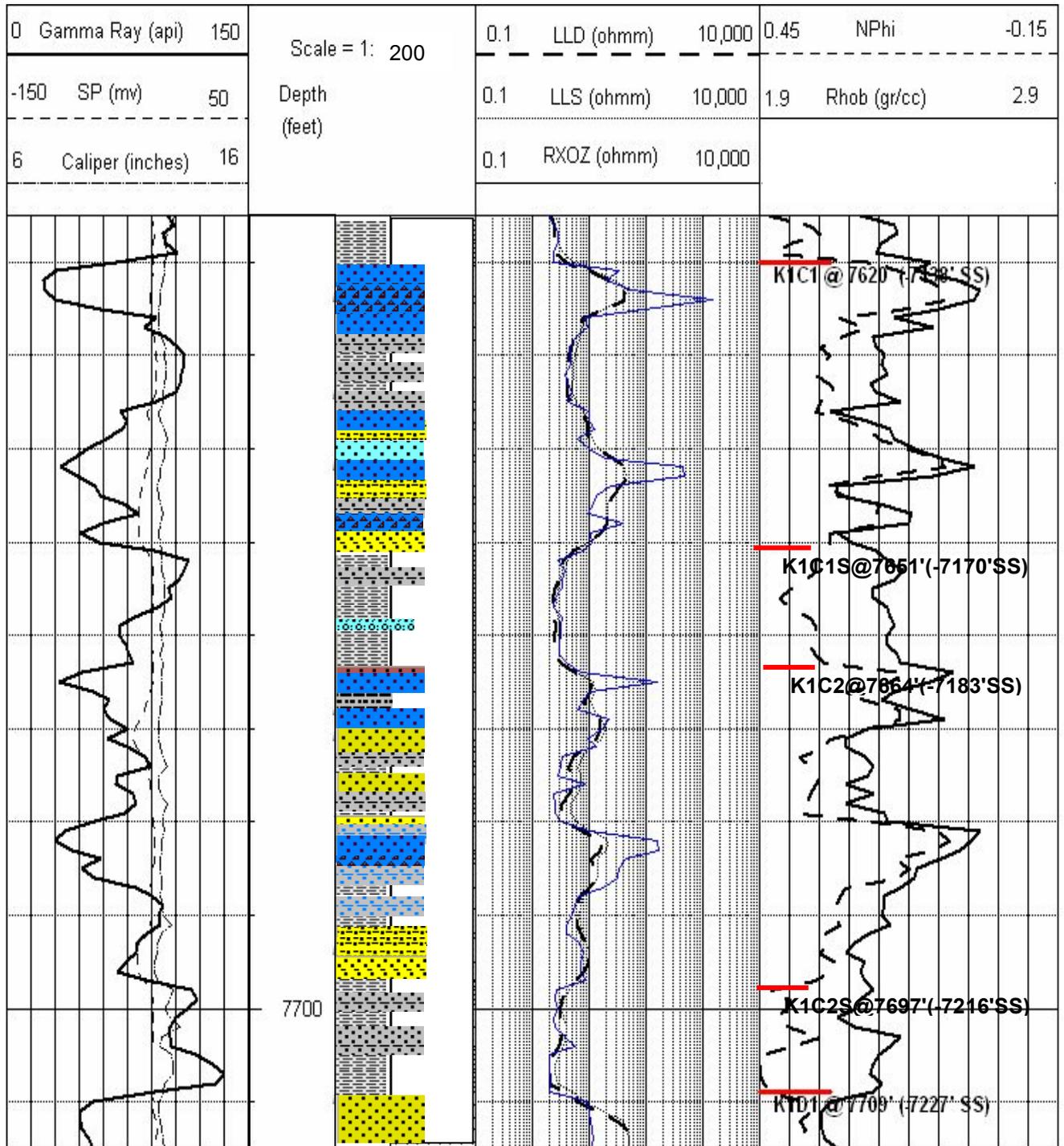
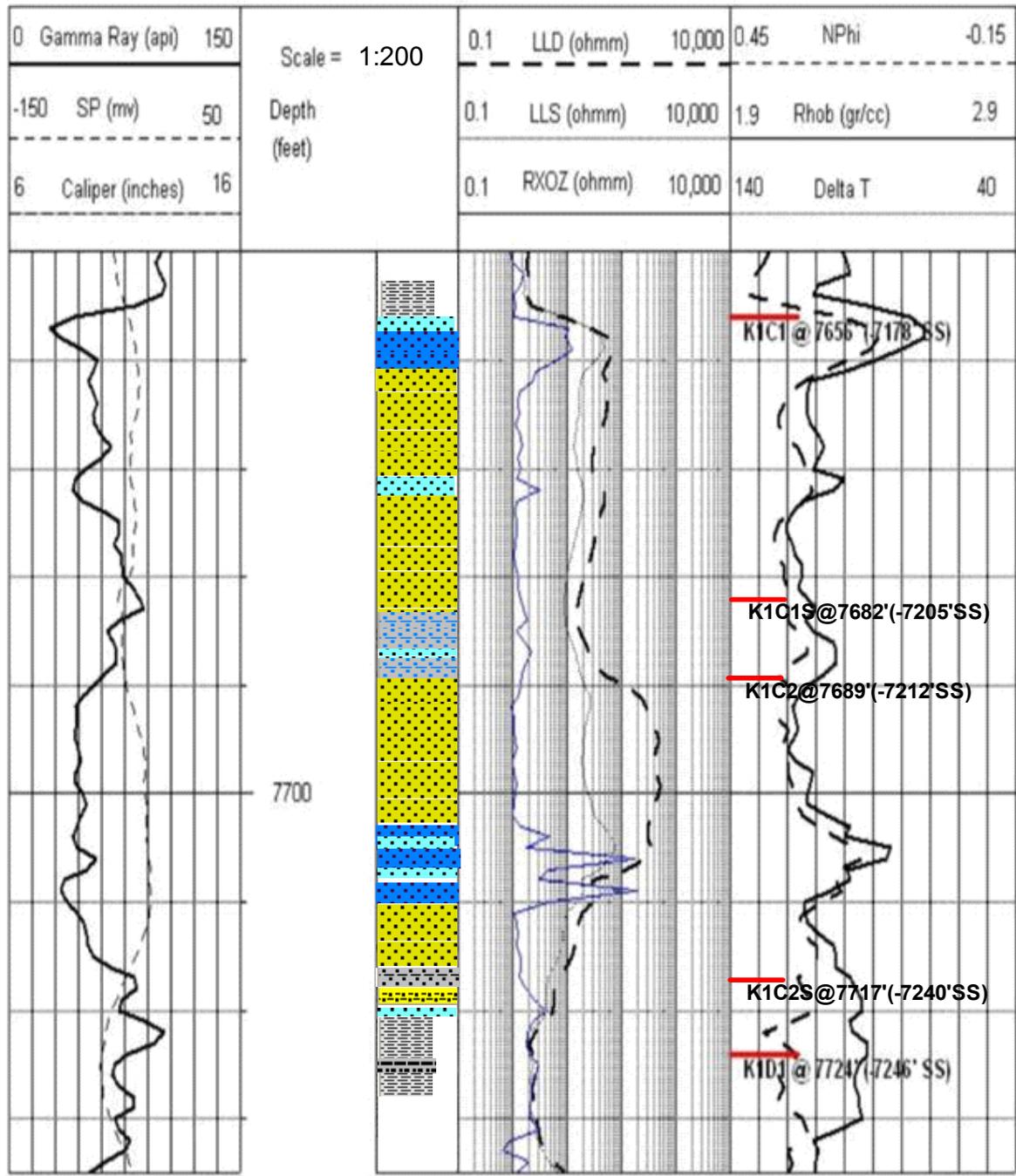


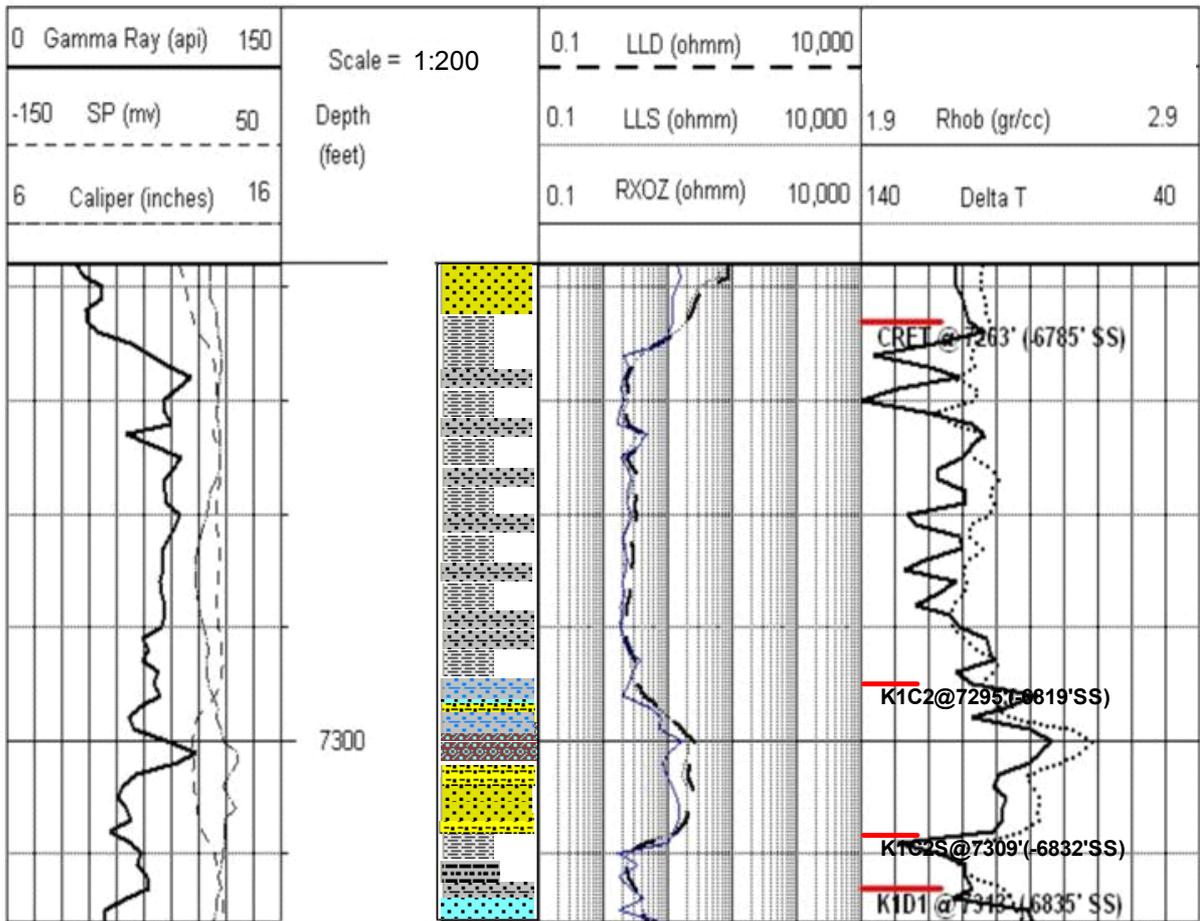
Figura 19. Amarre entre el corazón y los registros eléctricos a escala 1:200, del Pozo A.

**POZO B**



**Figura 20.** Amarre entre el corazón y los registros eléctricos a escala 1:200, del Pozo B.

# POZO C



**Figura 21.** Amarre entre el corazón y los registros eléctricos a escala 1:200, del Pozo C.

# POZO D

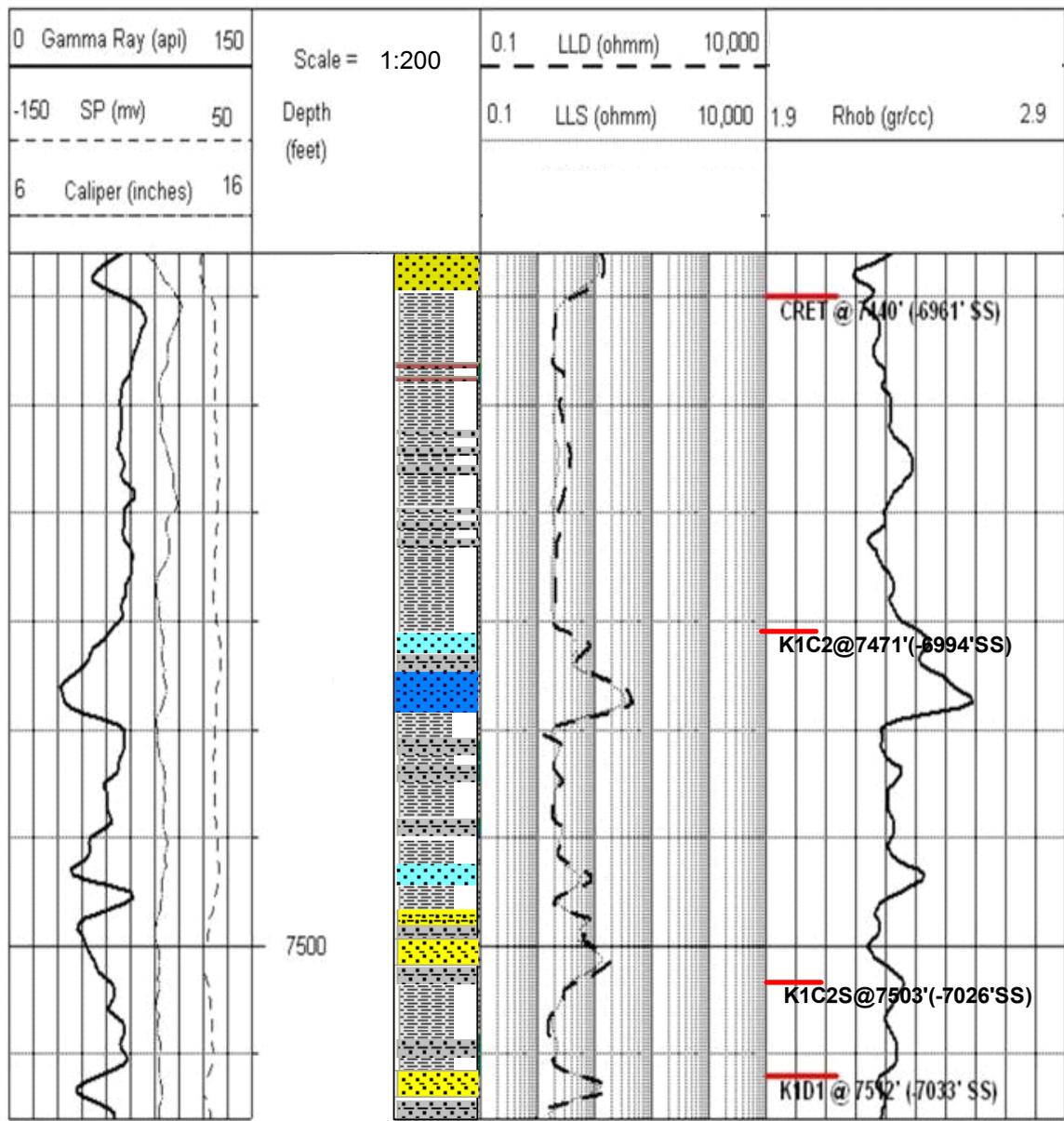


Figura 22. Amarre entre el corazón y los registros eléctricos a escala 1:200, del Pozo D.

## 7. HISTORIA DIAGENETICA

En la descripción petrográfica del Capítulo 5, se identificaron los minerales de origen diagenético (cemento), así como las relaciones que hay entre ellos y el armazón y la matriz. La precipitación de tales minerales implica la ocurrencia de ciertos procesos diagenéticos, y la forma en que están dispuestos sugiere el orden en el que ocurrieron. A partir de estas observaciones se propondrá una secuencia de eventos que afectaron al Miembro Cretácico K1C durante su litificación.

Es posible que se hayan presentado múltiples precipitaciones y disoluciones de estos cementos, sobre todo si se tiene en cuenta que las inconformidades que delimitan las formaciones implican periodos de exhumación de la secuencia, pero solo se tiene certeza de los que se observaron en estas muestras.

### 7.1 PROCESOS DIAGENETICOS

Los procesos diagenéticos que afectaron al miembro K1C son en su respectivo orden: Compactación Leve, Autigénesis de arcillas, precipitación de sílice y precipitación de carbonato de calcio. Esta secuencia de eventos redujo considerablemente la porosidad y composición de los intervalos arenosos de esta unidad.

#### ✓ **Compactación:**

Se considera leve, porque los contactos intergranulares son predominantemente tangenciales (Ver Fotog. 19 y 20). Ocasionalmente se encuentran hojuelas de micas levemente plegadas.

#### ✓ **Autigénesis de arcillas:**

Es muy difícil mediante petrografía, distinguir las arcillas alogénicas de la matriz, de las autigénicas del cemento por lo tanto, en la descripción solo se consideraron como de origen diagenético las arcillas que exhibían relictos de

feldespatos (Ver Fotog. 15). Sin embargo, es muy posible que las arcillas que son frecuentemente encontradas rellenas en partículas de cuarzo (Ver Fotos 12a y 22a) también sean autigénicas, pues los pocos granos de cuarzo policristalino hallados, muestran contactos internos cóncavo-convexos (Ver Fotog. 22a), dentro de los cuales pudo haber alguna vez cristales de feldespatos que al alterarse dieron origen a tales arcillas.

Dado que para el presente estudio no se dispuso de pruebas de Difracción de Rayos X, es prácticamente imposible determinar la especie mineralógica de las arcillas. Por lo tanto, solo se puede asegurar la presencia de la Caolinita dentro de las arcillas diagenéticas, como resultado de la alteración de feldespatos potásicos mediante la siguiente reacción química, en la cual se liberan cationes de potasio y ácido silícico, a temperaturas de 25° a 65° C (Boggs, 1992):



#### ✓ **Precipitación de Sílice:**

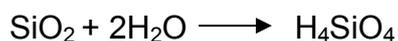
La precipitación de sílice se presenta en estas arenas en dos formas: como sobrecrecimientos en las partículas de cuarzo (Ver Fotog. 12b y 15), y como reemplazamientos de chert en bioclastos calcáreos (Ver Fotog. 9b).

Su precipitación depende de factores como la presión hidrostática, el pH, y principalmente de la concentración de la solución y la temperatura. Los sobrecrecimientos de cuarzo ocurren en un amplio rango de temperaturas que va de 50°C a 200°C (Boles & Franks, 1979; en Boggs, 1992), y a mayores temperaturas se requieren mayores concentraciones de sílice para que esta precipite. En estas condiciones los carbonatos se disuelven (Boggs, 1992), por lo cual la precipitación de sílice implica la disolución de los carbonatos preexistentes (bioclastos o cemento).

Los reemplazamientos de chert pueden corresponder a una precipitación inicial de ópalo que posteriormente recrystalizó a cuarzo microcristalino (Boggs, 1992). En ambos casos, dado que del agua de poro solo se deposita una pequeña cantidad de sílice, se requiere que grandes cantidades de fluidos con exceso

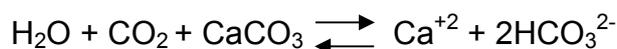
de este compuesto hayan circulado por la roca, para lograr una cementación apreciable (Boggs, 1992).

La fuente de sílice puede provenir de la disolución parcial del cuarzo y feldespato del armazón y del ácido silícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) producido durante la autigénesis de las arcillas (Boggs, 1992).



✓ **Precipitación de Carbonato de Calcio:**

El cemento calcáreo se presenta como calcita con textura poikilotópica y donde ocurre, muestra evidencias de haber corroído a los granos de cuarzo del armazón (Ver Fotog. 9a), así como a los sobrecrecimientos de cuarzo (Ver Fotog. 17b). Su precipitación depende de un pH básico, la temperatura (20-100°C), la concentración de  $\text{CO}_2$  y naturalmente, de la concentración de los iones de calcio y bicarbonato (Boggs, 1992), como se muestra en la siguiente reacción:

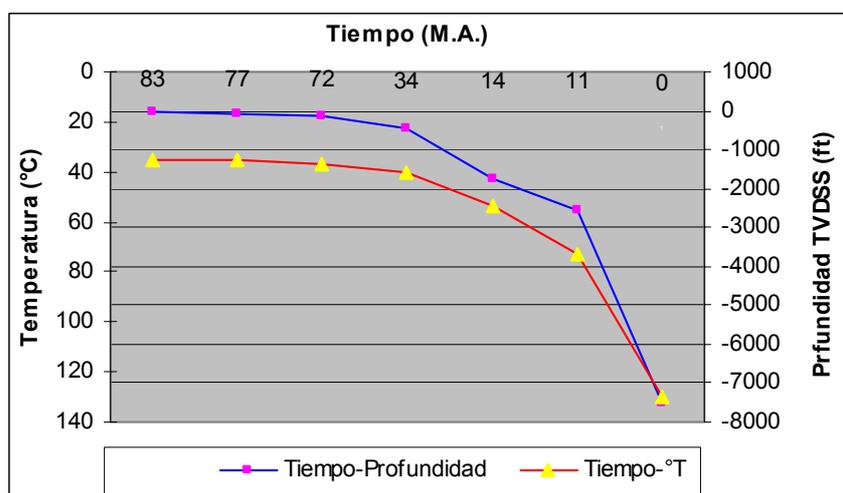


Sin embargo, si hay intervención de ácidos, como los de tipo orgánico producidos durante la diagénesis de los shales, la influencia de la concentración de  $\text{CO}_2$  se hace menor (Boggs, 1992).

La precipitación del Carbonato de Calcio por su parte, implica la disolución de la sílice preexistente, pues en tales condiciones (sobre todo en pH básico) no es estable. Esto explicaría la corrosión en las partículas de cuarzo y sus sobrecrecimientos. La principal fuente de bicarbonato de calcio puede ser el contenido fósil de restos de conchillas que se observan frecuentemente en las areniscas de los corazones (Ver Fotog. 3a)

## 7.2 HISTORIA DE ENTERRAMIENTO

Tomando los espesores promedio y las edades de las unidades que suprayacen al Miembro Cretácico K1C, se reconstruye la historia de enterramiento que experimento. Como puede observarse en la Figura 23, las mayores tasas de subsidencia neta (sin tener en cuenta los periodos de exhumación de la secuencia) se presentaron en el Oligoceno (34 M.A), y desde el Mioceno medio hasta nuestros días (11-0 M.A), las cuales corresponden claramente con el levantamiento de las Cordilleras Central y Oriental, respectivamente (Molina, 1991). El K1C alcanzo profundidades mayores a 7000 ft (mas de 2000 m) y temperaturas superiores a los 130°C.



**Figura 23.** Curva generalizada de enterramiento para el Miembro Cretácico K1C. Se emplearon profundidades promedio en el área de Cravo Norte respecto al nivel actual del mar, temperatura superficial de 35°C durante el Campaniano, y porosidades, conductividad de calor y gradiente geotérmico (25°C/Km.) constantes.

Con base en los procesos diagenéticos identificados y la historia de enterramiento, es posible proponer una datación para dichos procesos. De esta forma, se sugiere que la **autigénesis de las arcillas** ocurrió desde su depositación en el Campaniano (83-72 M.A), hasta el Mioceno Medio (13 M.A), cuando la unidad alcanzo cerca de 2000 ft de profundidad y una temperatura de 65°C. Por su parte, la **precipitación de sílice**, pudo suceder posteriormente estando aun en el Mioceno Medio (de 13 a 11 M.A), cuando su profundidad paso de 2000 a 2500 ft, y su temperatura de 65°C a 80°C.

Finalmente, la **cementación calcárea** se habría presentado en el Mioceno Tardío (11 a 6 M.A), cuando la unidad llegó al intervalo de 2500 a 4000 ft de profundidad y 80°C a 100°C de temperatura.

Del Plioceno hasta nuestros días tanto la profundidad como la temperatura aumentaron aun mas (Ver Fig. 23), brindando condiciones para la ocurrencia de más reacciones diagenéticas, como la transformación de arcillas y más sobrecrecimientos de Cuarzo, pero la ausencia de más evidencias impide identificarlos. Por otro lado, si la carencia de procesos diagenéticos adicionales se debe al efecto inhibitor de los hidrocarburos, esto podría indicar que el llenado de los reservorios del Miembro Cretácico K1C, solo pudo ocurrir desde el Plioceno.

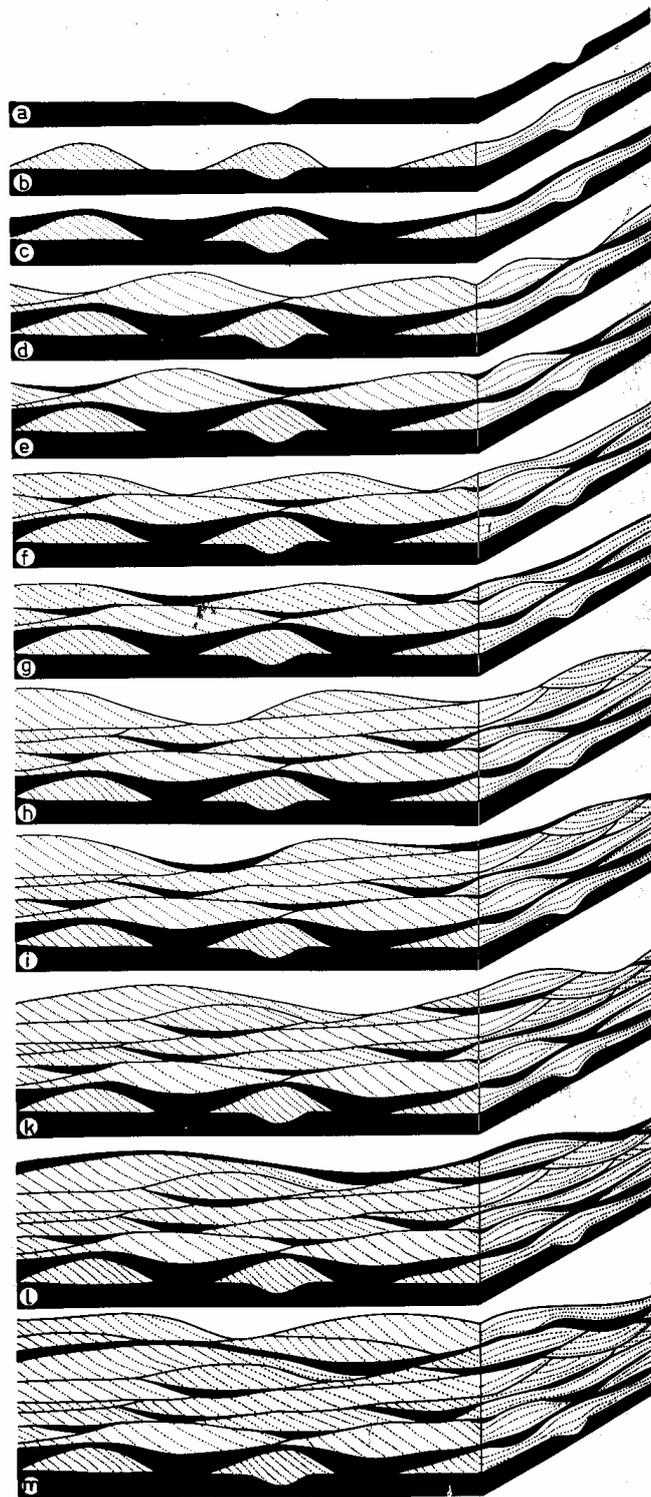
## **8. IDENTIFICACION DE FACIES Y ASOCIACIONES DE FACIES**

Partiendo de las evidencias observadas en los corazones, se han reconocido ocho facies, agrupadas en cuatro grupos o asociaciones de facies. Las primeras fueron definidas con base en rasgos particulares de textura, composición y estructuras, mientras que las segundas están marcadas por cambios drásticos en tales características. A continuación se presentan las asociaciones de facies identificadas, con sus respectivas facies que las conforman.

Teniendo en cuenta que no hay evidencias de depositación aérea en las muestras, que el marco geológico ubica a la formaciones cretácicas de Cravo Norte en un ambiente transicional, y las pruebas hidrodinámicas realizadas por Simons et al (1965) and Allen (1968), en Reineck-Singh (1973), las estructuras encontradas en el presente estudio son interpretadas como depositadas por corrientes de agua.

### **8.1. FACIES F1: SHALES LAMINADOS**

Se trata de shales silíceos de color negro, los cuales presentan laminación plana-paralela-continua y ninguna evidencia de bioturbación (Ver Fotog. 1a y Anexos 1-4). Indica condiciones estables de baja energía que permitieron la depositación de partículas tamaño lodo de manera rítmica y lenta (Reineck-Singh, 1973), dando como resultado una capa homogénea de lodo (Ver Fig. 24a). Por su parte, la ausencia de madrigueras junto con pequeñas cantidades pirita, sugiere condiciones reductoras-anaeróbicas (Reineck-Singh, 1973).



**Figura 24.** Interpretación de la génesis de la laminación lenticular a flaser. (a) depositación de lodo en condiciones de baja energía. (b-d) génesis de la estructura lenticular. (d-m) génesis de la estructura Flaser. Modificado de Reineck-Singh (1973) pp. 100.

## 8.2. ASOCIACION DE FACIES A2: INTERLAMINACIONES ENTRE SHALES Y ARENISCAS BIOTURBADAS.

Consiste en las intercalaciones entre shales y areniscas muy finas, las cuales forman las laminaciones lenticular, ondulosa y flasser, que siempre están acompañadas por estructuras biogénicas (Ver Fotog. 1b-1c y Anexos 1-4).

Esta asociación muestra alternancias entre periodos de “calma” en los que se depositaron shales y periodos de mayor energía en los que se depositaron las arenas (Ver Fig. 24). La evidencia de fauna bentónica sugiere que las condiciones ambientales eran aeróbicas y quizás con una mayor disponibilidad de nutrientes para tales organismos que en A1 (Reineck-Singh, 1973), mientras que su verticalidad indica aumentos en el suministro de sedimentos. El único ichnofósil identificable, el ejemplar de *Diplocaterion* del Pozo A (Ver Fotog. 1c), pertenece a la ichnofacies *Skolithos*, vinculada profundidades inferiores a 200m y costas arenosas de pendiente suave (Ekdale et al, 1984; en Walker & James, 1992).

La variación de estructuras sedimentarias, permitiría diferenciar tres tipos de Facies, dentro de la asociación A2, según el predominio de las condiciones de depositación de lodo o de arena (Reineck-Singh, 1973). Cuando la laminación es **Lenticular** (Facies F2a), los periodos de baja energía son lo suficientemente prolongados como para que el lodo cubra completamente y preserve a los discontinuos lentes de arena infrayacentes (Ver Fig. 24b-d). Si es **Ondulosa** (Facies F2b) hay mayor suministro de partículas de arena, por lo cual los lentes se interconectan lateralmente, pero los intervalos de baja energía aun son suficientes para cubrirlos. Finalmente, en la laminación **Flasser** (Facies F2c) los lapsos de “quietud” son mas cortos y el suministro de sedimentos arenosos mayor, dejando expuestos a los lentes de arena a la erosión y retrabajamiento del siguiente periodo de depositación de arenas (Ver Fig. 24e-m).

### 8.3. ASOCIACION DE FACIES A3: ARENISCAS BIOTURBADAS.

Incluye a todas las cuarzoareniscas finas y muy finas que poseen estructuras tipo flasser con un espaciamiento de capas delgadas a muy delgadas, lo cual las diferencia de los niveles arenosos con laminación flasser de la Asociación A2 (Ver Fotog. 2a-2b y anexos 1-4). Estas areniscas se encuentran por lo general bioturbadas, llegando en algunos casos a estar casi completamente homogenizadas (Ver Fotog. 7a), en cuyo caso se asume que poseían las mismas estructuras sedimentarias, porque exhiben restos muy espaciados de laminas de shale. Localmente como ocurre en el Pozo C a 7290', las areniscas exhiben estructura plana-paralela-continua, con espaciamiento de capas delgadas.

Estas areniscas bioturbadas implican en general, condiciones de mayor energía y suministro de sedimentos que en A2. El mayor espaciamiento de las estructuras quiere decir que los periodos de baja energía en los que se depositaron las delgadas laminas de shale eran menos frecuentes (Reineck-Singh, 1973), permitiendo que las capas de arena fueran retrabajadas y quedaran más interconectadas (Ver Fig. 23 d-m).

Por otro lado, la presencia de madrigueras verticales (donde podían ser diferenciadas), sugiere que el suministro de sedimentos era mayor, pues la fauna bentónica tenía que cavar en esa dirección para no perder contacto con la superficie (Reineck-Singh, 1973). El hecho de contar con una mayor intensidad de bioturbación en esta asociación de facies, indica que la disponibilidad de oxígeno y nutrientes era mejor que en A2 (Reineck-Singh, 1973).

La variación en textura, contenido fósil y en el grado de bioturbación, permite distinguir dos facies dentro de la Asociación A3: Las arenas **Altamente Bioturbadas** y las arenas **Poco Bioturbadas**. En las primeras, con tamaño de grano arena muy fina, el contenido fósil es predominantemente marino (conchillas, huesos de peces y pelets), y alcanzan los grados más intensos de bioturbación (Ver Fotog. 7a). En las segundas (las de mayores impregnaciones

de aceite) el almacén es de arena fina, el contenido fósil es escaso, limitándose a restos de plantas superiores, y su grado de bioturbación es bajo o nulo (Ver Fotog. 2b y [Anexo 1](#)). Estas variaciones pueden atribuirse a periodos de mayor energía y a un mayor suministro de sedimentos de origen continental, para las arenas Poco Bioturbadas (Reineck-Singh, 1973).

#### **8.4. ASOCIACION DE FACIES A4: ARENISCAS CONGLOMERATICAS**

Esta compuesta por las cuarzoareniscas y grauvacas finas conglomeráticas, que no poseen estructura sedimentaria o biogénica alguna. Su contenido de partículas tamaño grava oscila alrededor del 10% y se encuentran generalmente asociadas a contactos erosivos (Ver Fotog. 3a y Anexos 1-4). Esta facies generalmente se presenta en intervalos menores a 1ft, excepto hacia el tope de los Pozos A y B, en donde alcanza 5 y 8 ft respectivamente (Ve Anexos 1y 2).

Tanto su textura y mala selección, como la completa ausencia de estructuras, indican que fue depositada en periodos de alta energía (Reineck-Singh, 1973), nada apropiados para el desarrollo de estructuras sedimentarias o el asentamiento de fauna bentónica. Frecuentemente se encuentran líticos de las litologías infrayacentes en las proximidades de sus contactos basales, confirmando la naturaleza erosiva de esta asociación de facies (Anexos 1-4).

Con base en el contenido fósil y de arcillas, es posible diferenciar dos facies dentro de esta asociación: las **Grauvacas** y las **Areniscas Esparíticas Fosilíferas**. Las grauvacas además de su elevado contenido de arcillas, poseen bioclastos predominantemente fosfáticos (huesos y dientes de peces) de tamaño gránulos. Las areniscas fosilíferas en cambio, carecen de arcillas (están fuertemente cementadas por espar) y sus fósiles consisten principalmente en valvas calcáreas desarticuladas (Ver Fotog. 3a), que alcanzan el tamaño guija. El hecho de que los bioclastos están poco o nada redondeados en ambas facies, es evidencia de poco transporte, mientras que su mayor tamaño en las areniscas, sugiere que estas se depositaron bajo condiciones de mayor energía que las Grauvacas (Reineck-Singh, 1973).

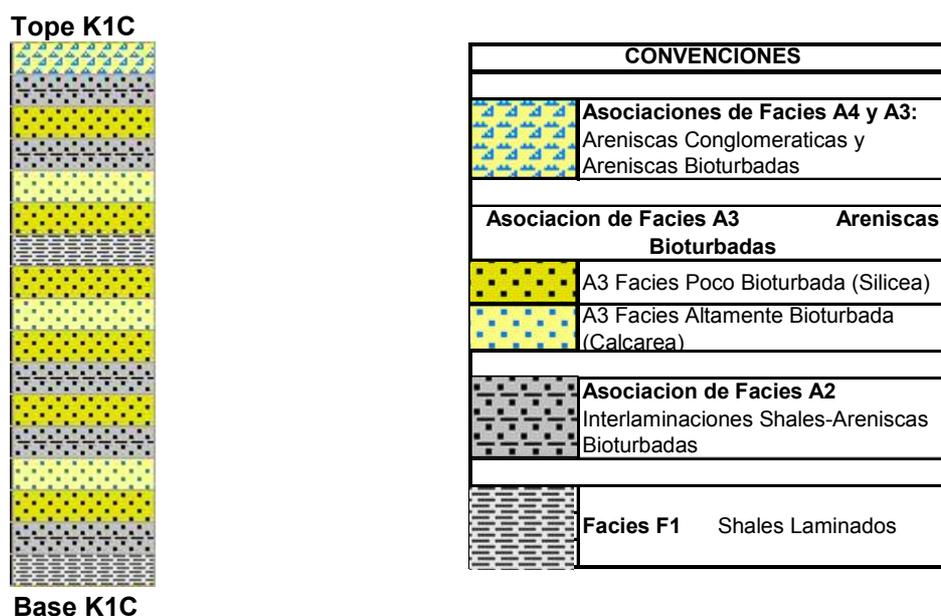
## 9. HISTORIA Y AMBIENTE DE DEPOSITACION

En este capítulo se integran todas las evidencias que se analizaron, para reconstruir el ambiente en el que se depositó el Miembro K1C. Se retomaron las distintas facies y asociaciones de facies identificadas, para confrontarlas con su morfología (determinada mediante la correlación de los registros de cerca de 200 pozos), y así tener una visión de su historia depositacional y paleogeografía.

Como resultado del proceso de correlación e interpretación, se definieron subunidades con topes litoestratigráficos diferentes (Ver Anexos 5, 6 y 7) a los que se emplearon inicialmente en el amarre de corazones a registros eléctricos.

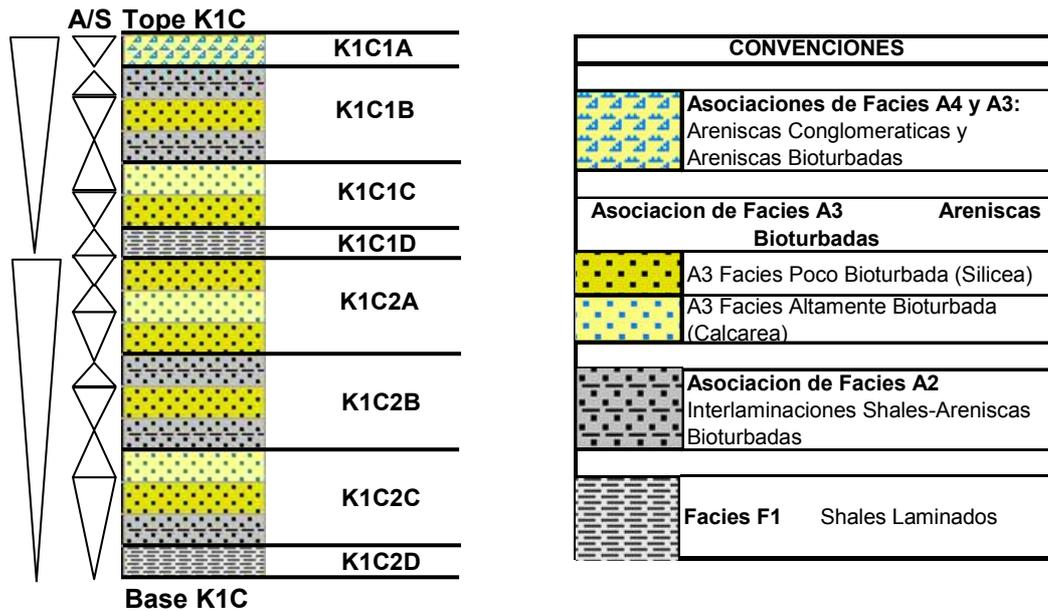
### 9.1 SUBUNIDADES DEL MIEMBRO K1C

Las correlaciones estratigráficas realizadas en el área de Cravo Norte muestran que para el Miembro K1C, las cuatro asociaciones de facies identificadas se presentan verticalmente en una secuencia definida (Ver Fig. 25).

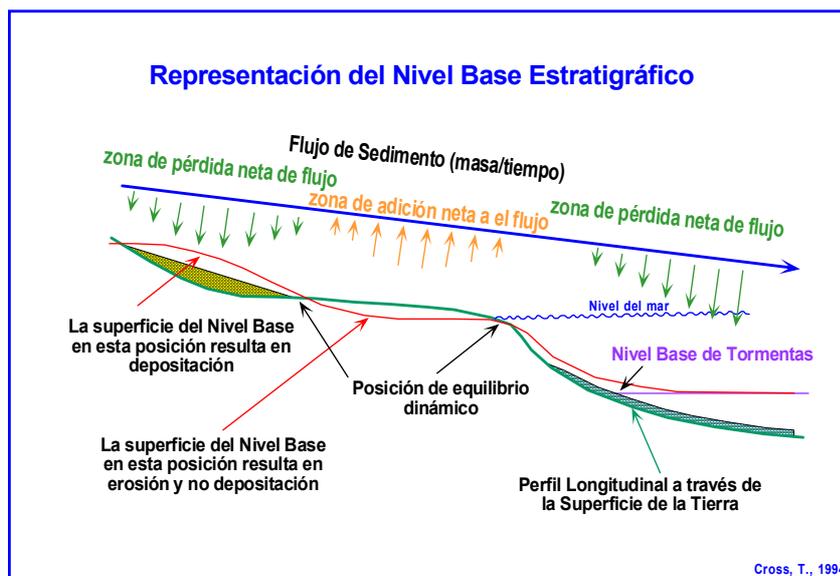


**Figura 25.** Secuencia general de Base a Tope de las Asociaciones de Facies del Miembro K1C, en Cravo Norte.

Dicha secuencia fue dividida en ocho intervalos, según las relaciones espacio de acomodación (A) y suministro de sedimentos (S) marcadas por las asociaciones de facies, mostrando oscilaciones del nivel base estratigráfico (Cross T., 1994; en Fajardo A., 2002) que pueden ser agrupadas en dos ciclos de descenso de dicho nivel: de K1C2D a K1C2A, y de K1C1D a K1C1A (Ver Figuras 26 y 27).



**Figura 26.** Subunidades del Miembro Cretácico K1C en Cravo Norte.



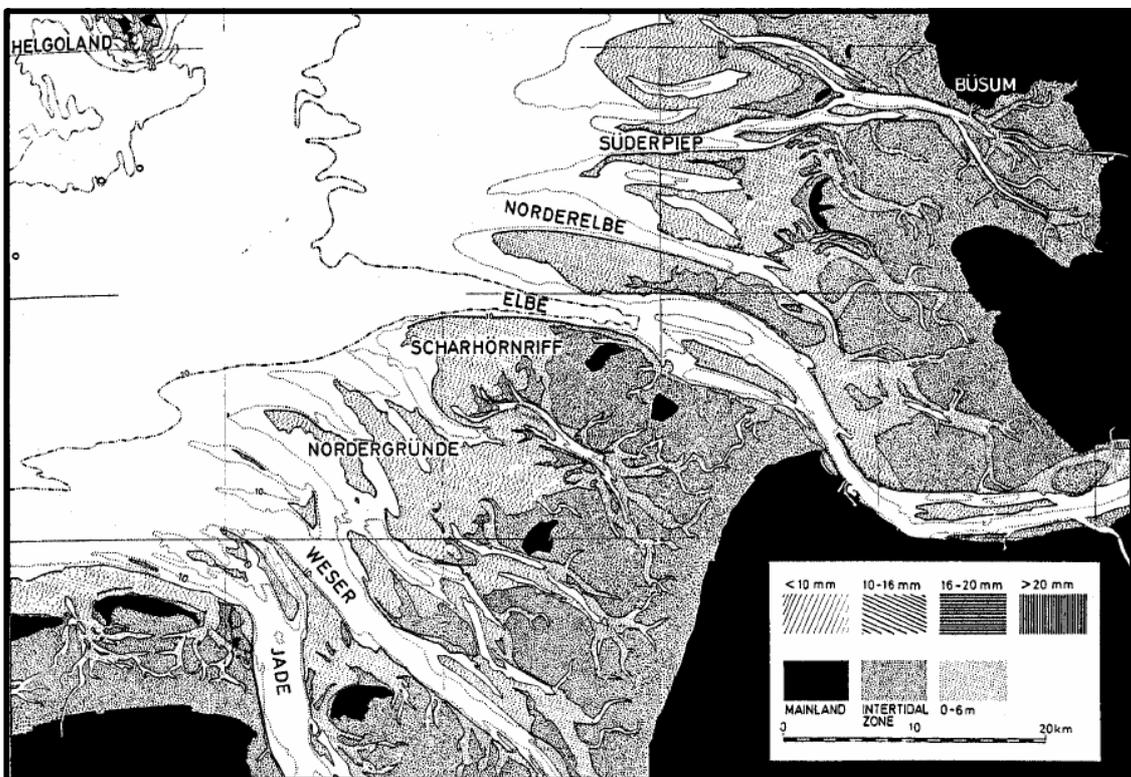
**Figura 27.** Representación de un Nivel Base estratigráfico. (Tomada de Cross T., 1994; en Fajardo A., 2002)

## 9.2 MORFOLOGIA DE LAS SUBUNIDADES E INTERPRETACION PALEOAMBIENTAL DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES

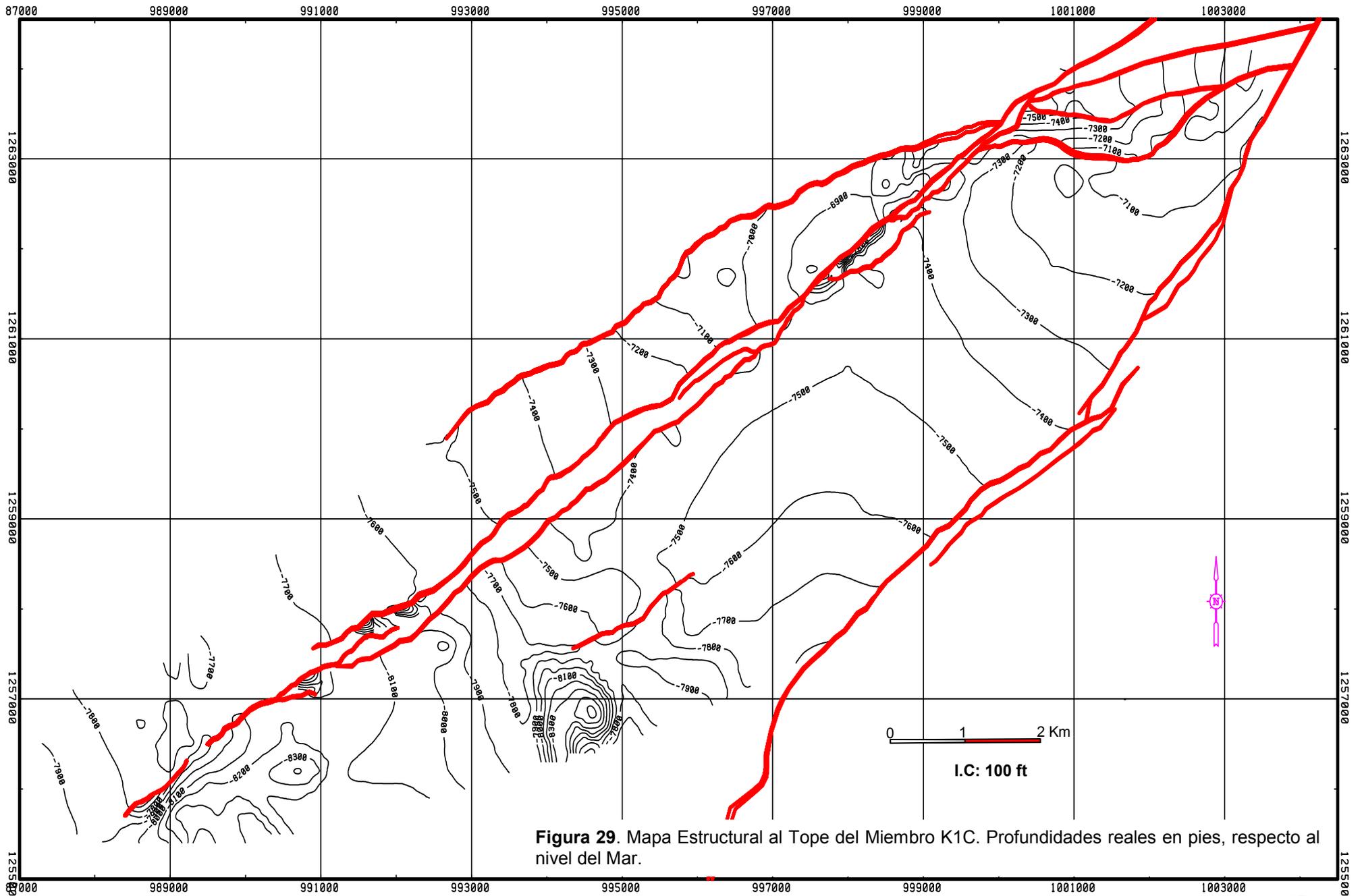
Retomando el marco estratigráfico general, que sitúa a la Formación K1 Inferior en un ambiente transicional con influencia deltáica, la ausencia de evidencias de exposición subaérea en los corazones, y la morfología de las subunidades (mapas isópacos) en las cuales predomina una asociación de facies, es posible ligar a estas ultimas con ambientes de depositación específicos.

### ✓ Facies F1: Shales Laminados

Esta Facies, representa los depósitos lodosos de la **Zona de Plataforma Interna** (Mud Inner Shelf). Sus condiciones de baja energía y poco suministro de sedimentos y su morfología continua pero con zonas de mayores espesores elongadas hacia el NW del Campo (Figuras 30 a 38), han sido encontradas en plataformas recientes como en Nordergründe-Mar del Norte (Fig. 28), a una profundidad de 15 a 40m (Reineck-Singh, 1973). Sin embargo, la ausencia de estructuras biogénicas sugiere que se depositaron en condiciones mas restringidas, posiblemente en una bahía.



**Figura 28.** Ejemplo reciente del ambiente de depositación para el Miembro K1C en Cravo Norte. Mapa de la zona sur de la Bahía Alemana, Mar del Norte. En Nordergründe, los cuerpos de arenas "Sand Shoals/Tongues" se depositan entre los ríos Weser y Elbe, elongados hacia mar abierto. Tomado de Reineck-Singh (1973), pp. 317.



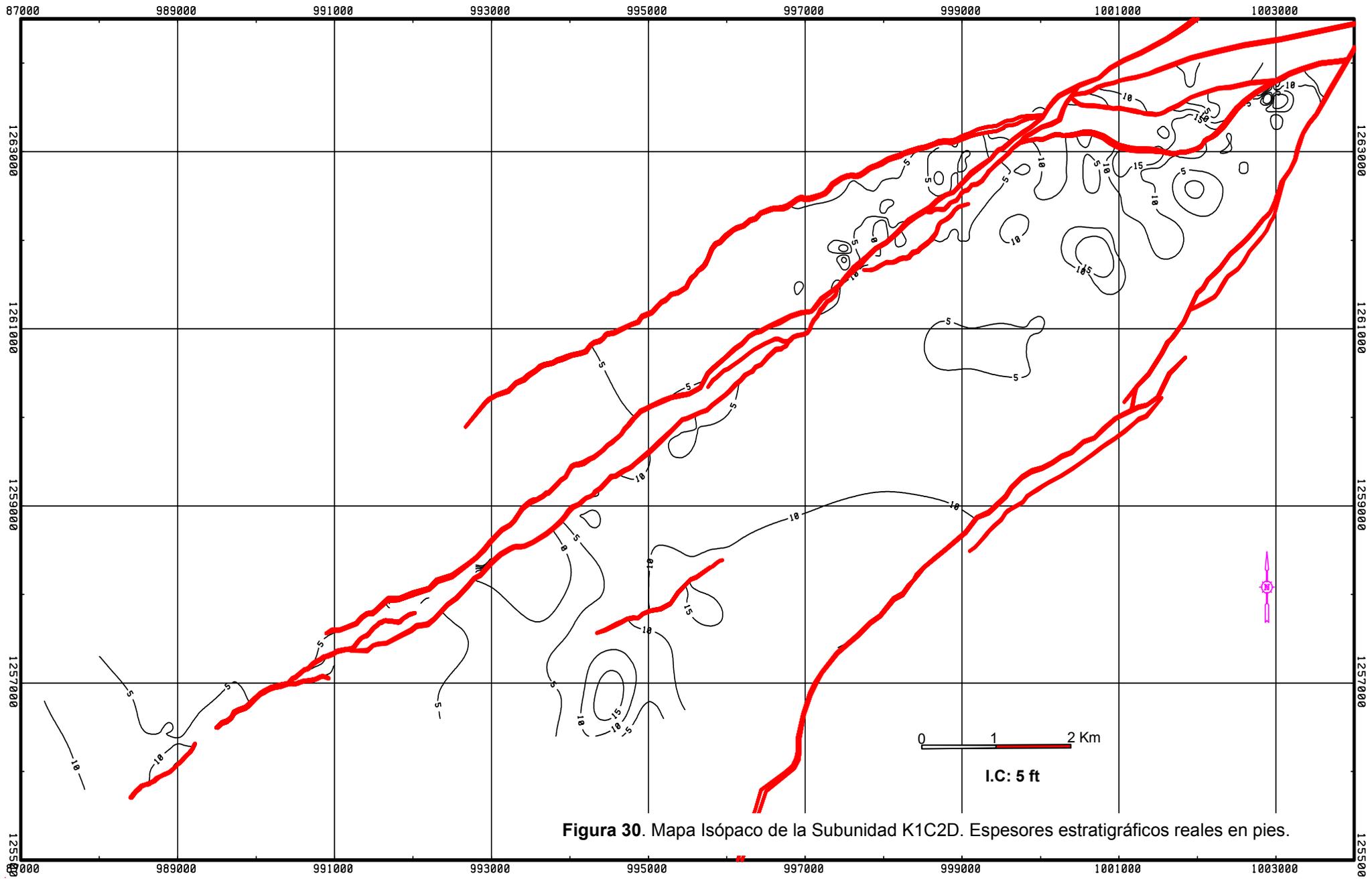
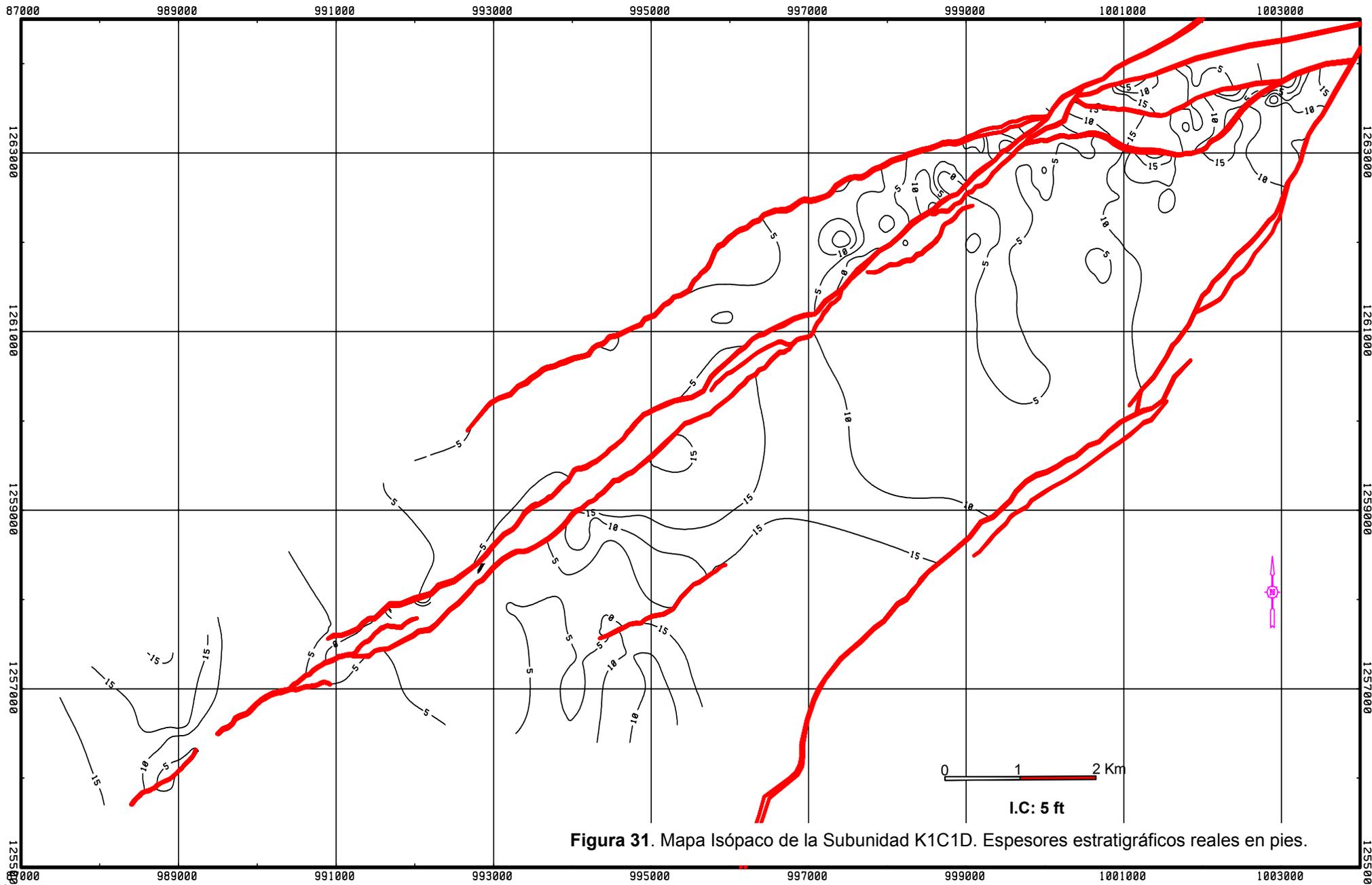


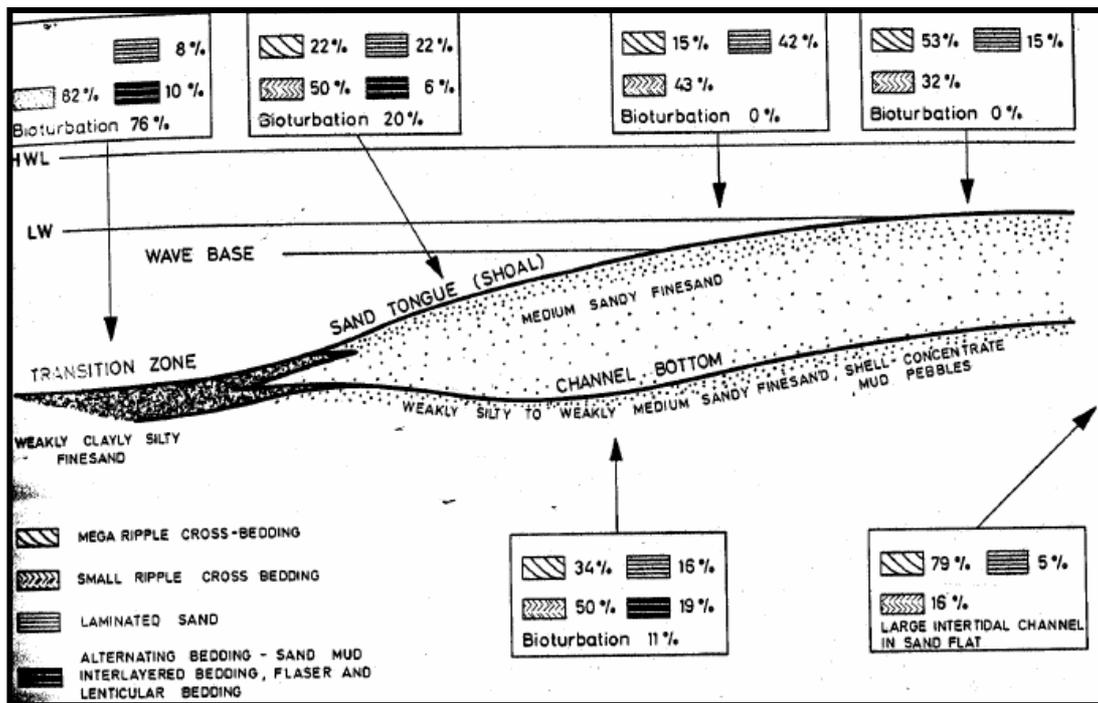
Figura 30. Mapa Isópaco de la Subunidad K1C2D. Espesores estratigráficos reales en pies.



**Figura 31.** Mapa Isópaco de la Subunidad K1C1D. Espesores estratigráficos reales en pies.

✓ **Asociación de Facies A2: Interlaminaciones entre Shales y Areniscas Bioturbadas.**

Esta asociación puede ser ligada a la **Zona de Transición** entre los lodos de plataforma (Mud Shelf) y el frente de playa inferior (Lower Shoreface), en los cuales este tipo de facies es muy común (Friedman G., & Sanders J., 1978). Los mapas isópacos de las subunidades K1C2B y K1C1B (Figuras 33 y 34), en las cuales predomina esta asociación de Facies, muestran igualmente una orientación hacia el NW del campo. Sin embargo, la presencia de la Facies poco Bioturbada de A3 puede ser localmente importante (Ver Figuras. 42 y 45). También en Nordergründe y Büsum (Figuras 28 y 32), se hallan buenas analogías de este subambiente, a una profundidad de 10 a 15m (Reineck-Singh, 1973).



**Figura 32.** Representación esquemática de la distribución de las estructuras sedimentarias y el grado de bioturbación en Nordergründe-Mar del Norte. Tomado de Reineck-Singh (1973) pp. 325.

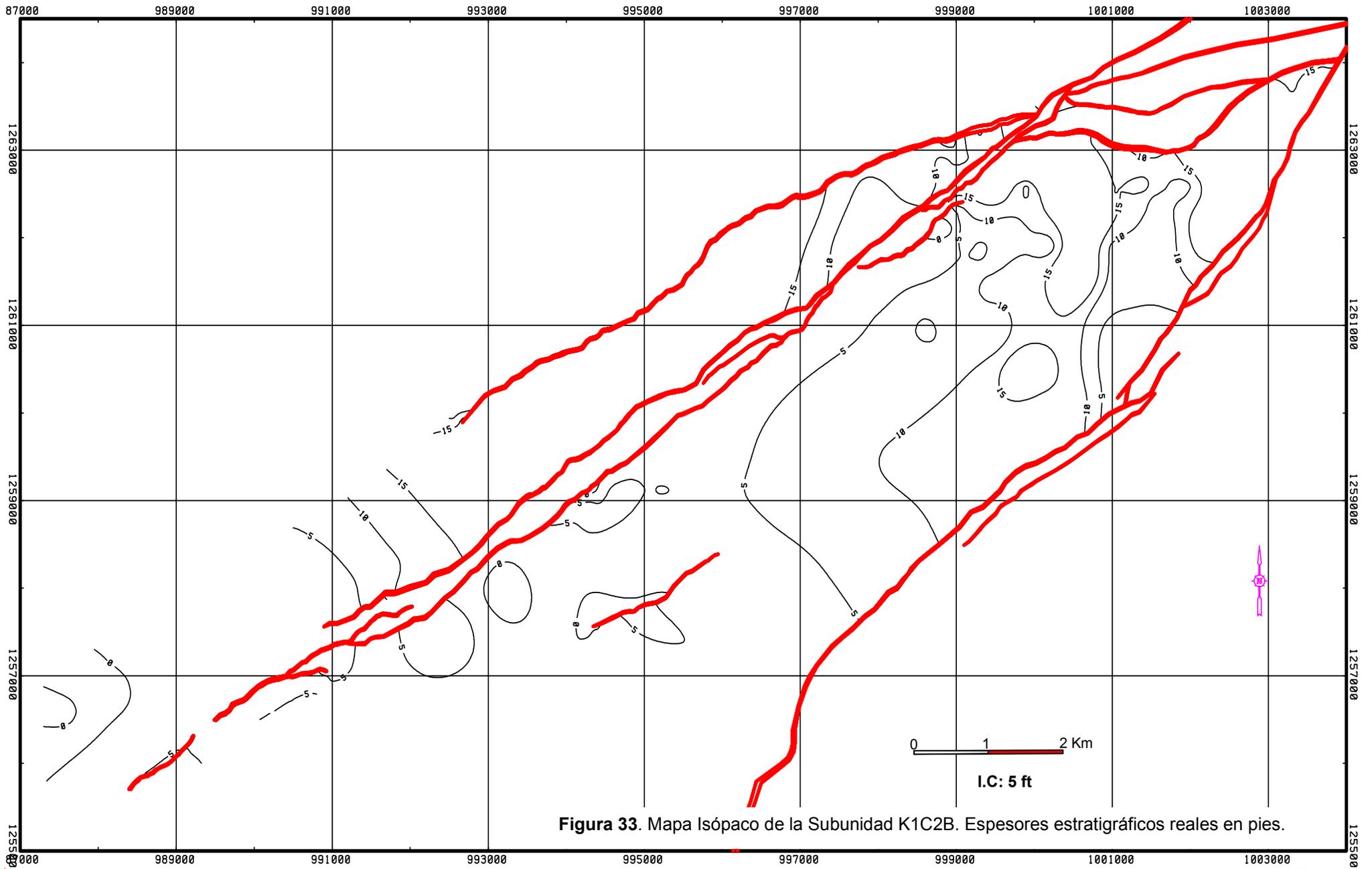
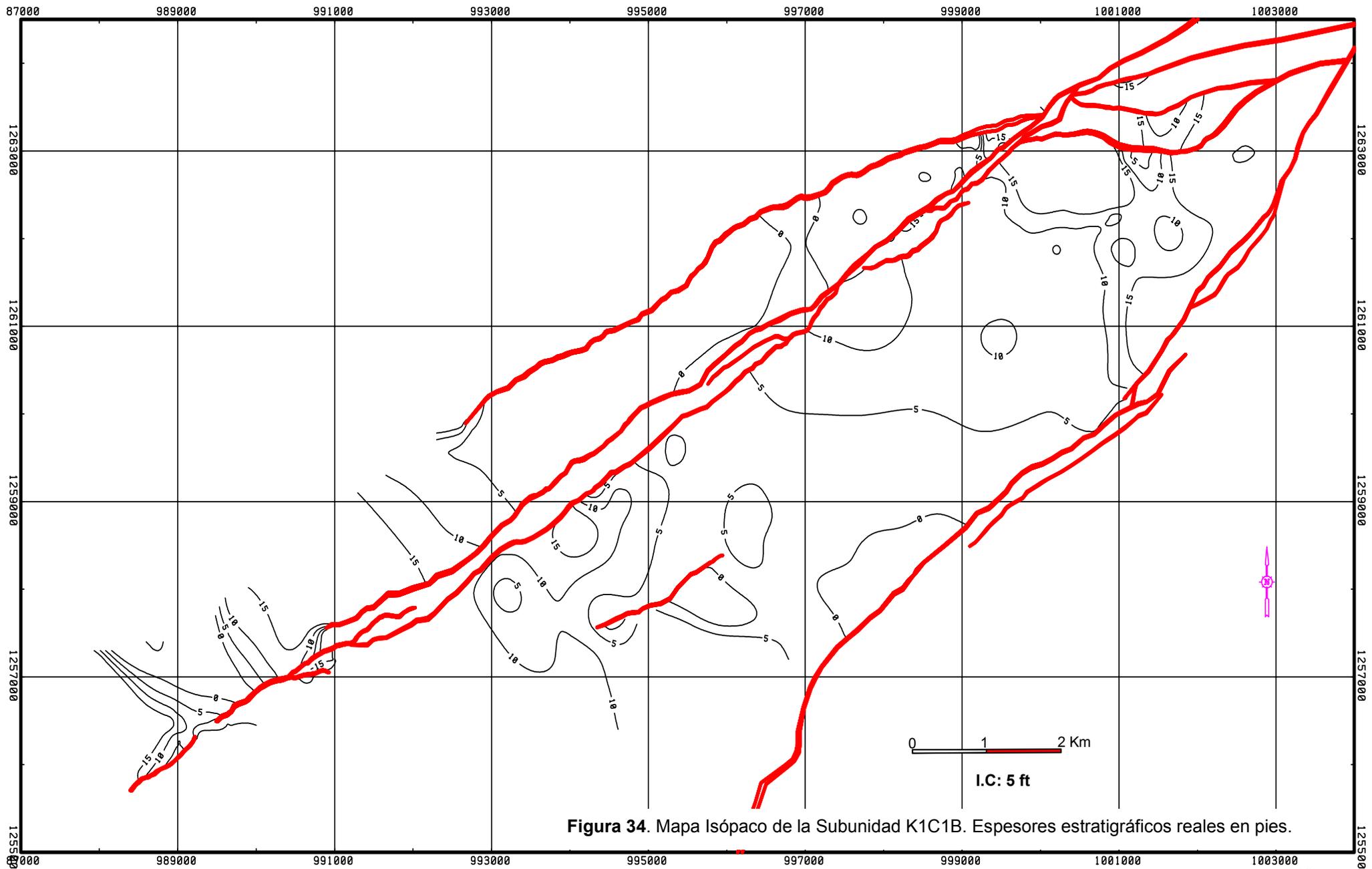


Figura 33. Mapa Isópaco de la Subunidad K1C2B. Espesores estratigráficos reales en pies.



**Figura 34.** Mapa Isópaco de la Subunidad K1C1B. Espesores estratigráficos reales en pies.

### ✓ Asociación de Facies A3: Areniscas Bioturbadas

La asociación A3 conforma las arenas de costa, cuya zona localizada bajo el **nivel base de olas** (Wave Base) esta representada por la Facies Altamente Bioturbada, mientras que la zona situada sobre dicho nivel esta compuesta por la Facies Poco Bioturbada. De nuevo, el ambiente de plataforma de Nordergründe-Mar del Norte (Figuras 28 y 32) muestra grandes similitudes con las asociaciones de facies y la morfología de las subunidades del Miembro K1C (Figuras 35, 36 y 37). En esta zona, las arenas costeras forman cuerpos extensos con cierta elongación hacia mar abierto (en promedio **18Km** paralelo a la costa y **2Km** hacia el mar), llamados “Sand Shoals” o “Sand Tongues”, como producto de la dispersión de la descarga de canales mareales en la zona submareal (Reineck-Singh, 1973). Dichos canales se forman en medio de la desembocadura de los ríos Weser y Elbe (Fig. 28), de los cuales reciben sedimentos mediante los depósitos de Crevasse Splay.

En Nordergründe, los espesores de los cuerpos de arena oscilan entre 8 y 16 metros (**24 y 48 ft**) y también muestran el contraste de bioturbación de alta a baja, según su posición debajo (profundidad: 15m) o sobre el nivel base de olas (profundidad: 5m), las cuales equivalen a las profundidades de los frentes de playa inferior y medio (Reineck-Singh, 1973).

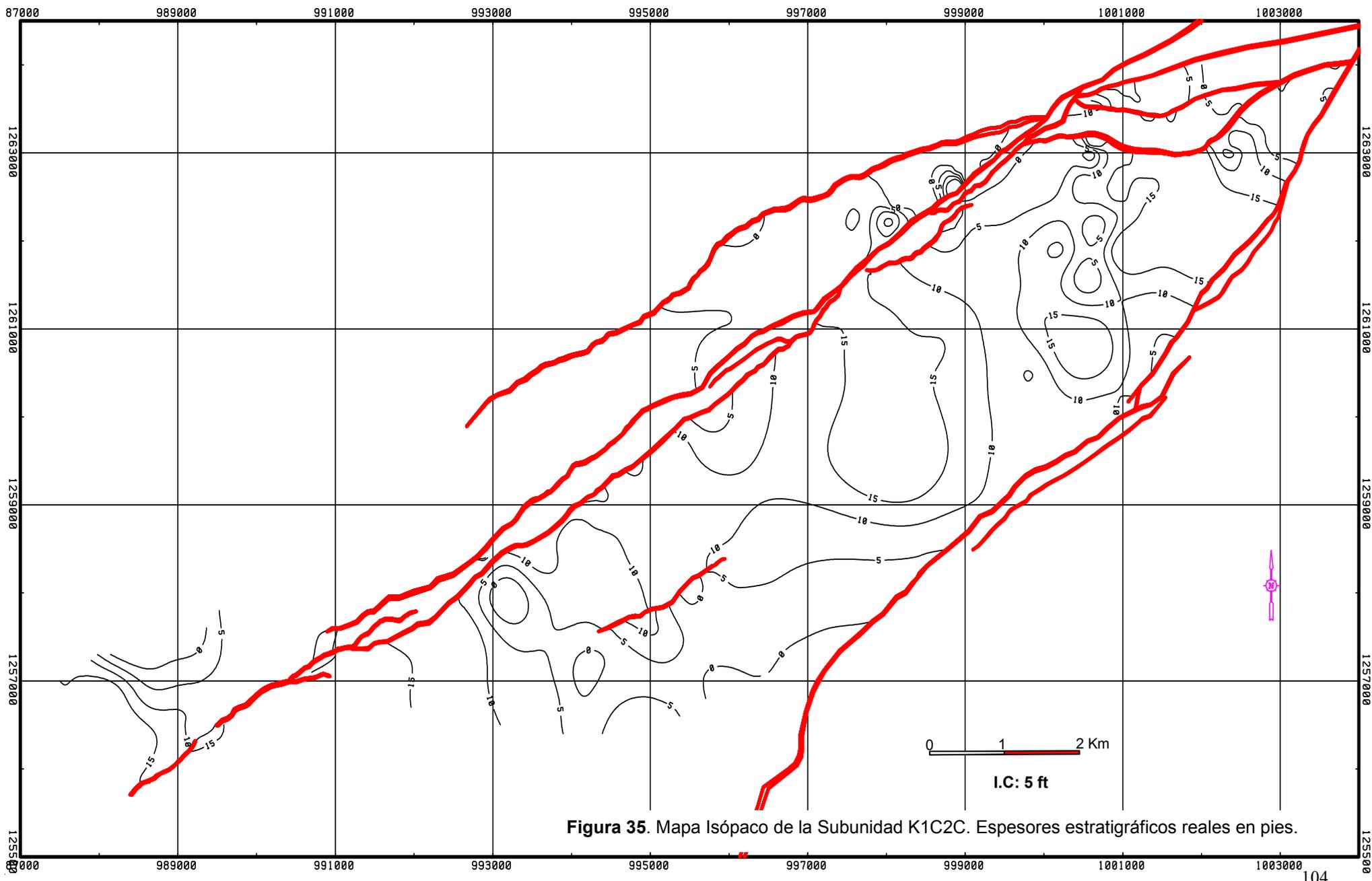


Figura 35. Mapa Isópaco de la Subunidad K1C2C. Espesores estratigráficos reales en pies.

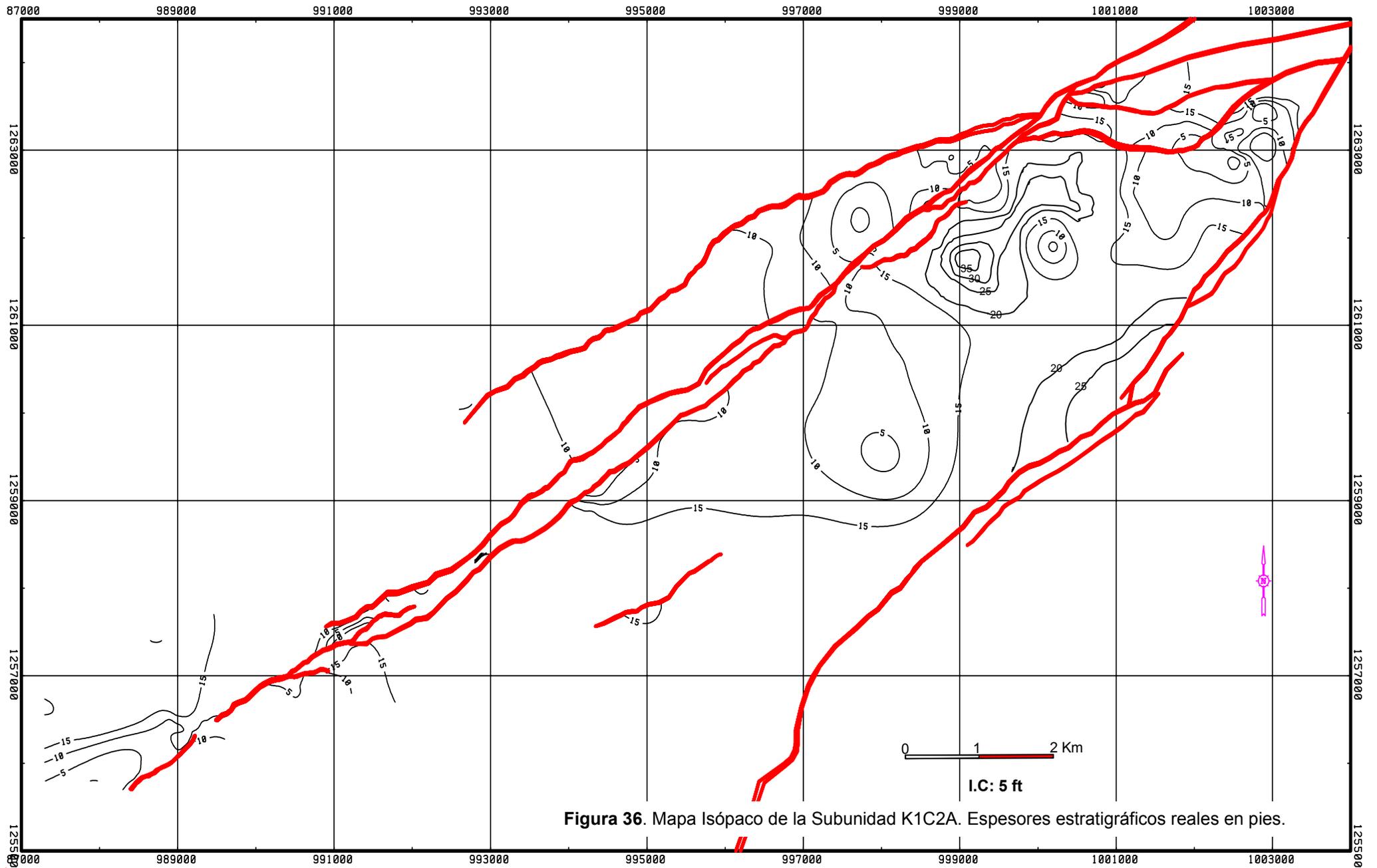


Figura 36. Mapa Isópaco de la Subunidad K1C2A. Espesores estratigráficos reales en pies.

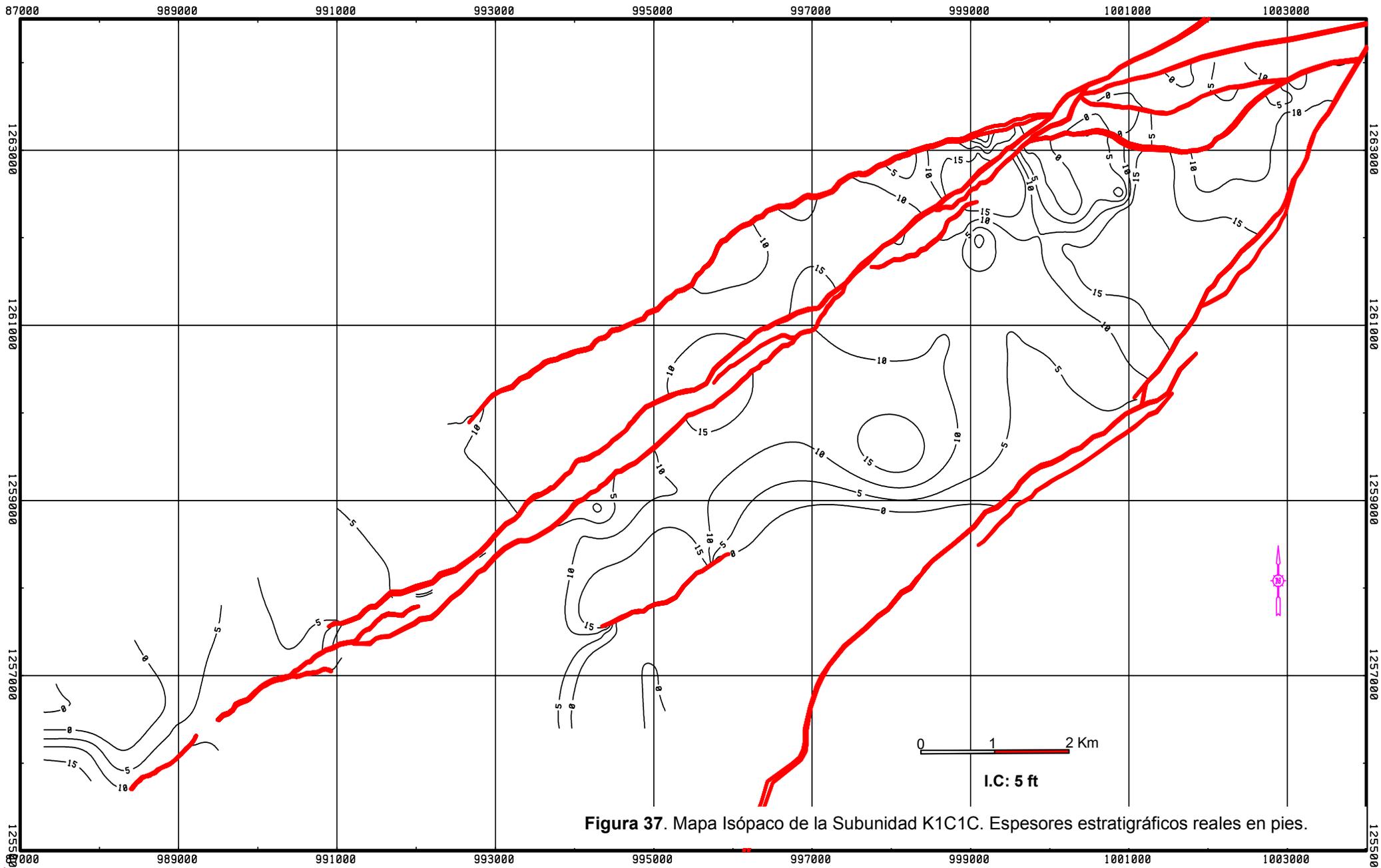


Figura 37. Mapa Isópaco de la Subunidad K1C1C. Espesores estratigráficos reales en pies.

#### ✓ **Asociación de Facies A4: Areniscas Conglomeráticas**

Las areniscas conglomeráticas, que representan los máximos niveles de energía de depositación en el Miembro K1C, pueden indicar depósitos de tormenta, o la base de canales mareales (Reineck-Singh, 1973; y Friedman G., & Sanders J., 1978).

No obstante es importante aclarar que esta Facies solo fue encontrada en los corazones de los pozos A y B (Ver Anexos 1 y 2), y que fue correlacionada al tope del Miembro K1C, como parte de la subunidad K1C1A, la cual también contiene a la Facies A3 (Figuras 25 y 26). Se asumió que las dos asociaciones pueden estar presentes, pues debido a la fuerte cementación esparítica que presenta K1C1A, la asociación A3 luciría igual en los registros eléctricos que la asociación A4 (Ver Correlaciones: Anexos 5 y 6). Por lo tanto el mapa isópaco de K1C1A (Fig. 38) no representa la extensión real de las areniscas conglomeráticas, sino más bien la de los cuerpos de areniscas "Sand Shoals" de A3, en las que pudieron encontrarse depósitos de tormenta o bases de canales mareales.

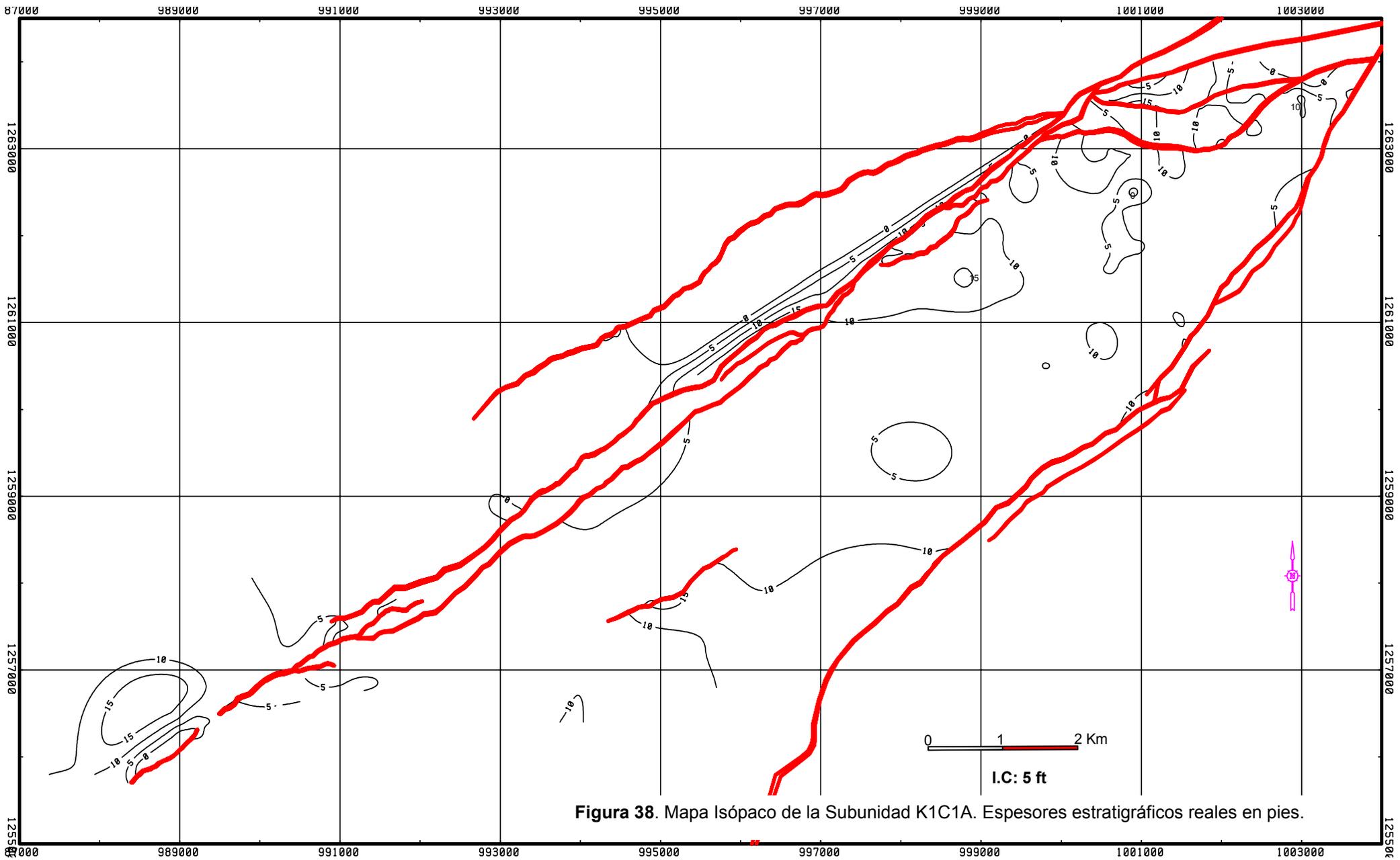


Figura 38. Mapa Isópaco de la Subunidad K1C1A. Espesores estratigráficos reales en pies.

### 9.3 HISTORIA DEPOSITACIONAL DEL MIEMBRO CRETACICO K1C

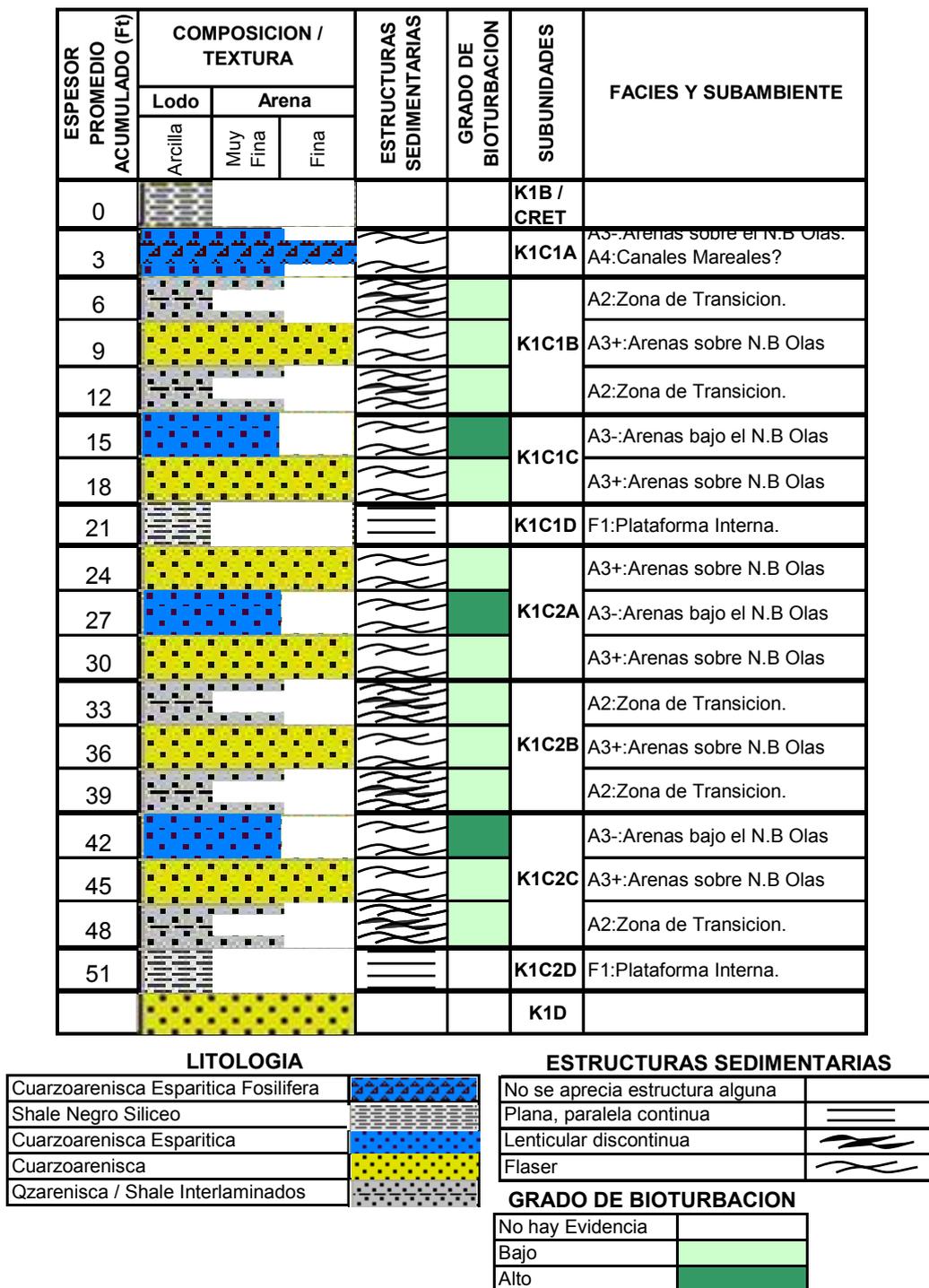
El Miembro Cretácico K1C se depositó entre la plataforma interior y el Nivel Base de Olas de un mar restringido (posiblemente una bahía), que recibía el aporte de canales mareales con influencia fluvial. Su secuencia muestra dos grandes ciclos de **descenso del nivel base estratigráfico** (Fig. 26), en los cuales los depósitos lodosos de la plataforma interior, dan lugar a las barras de arena que entran en contacto con el nivel base de olas, pasando por alternancias entre estas últimas y la zona de transición.

La determinación del grado de participación en el descenso del nivel base estratigráfico del nivel relativo del mar y de la tasa de sedimentación en el área, son aspectos que se escapan del alcance del presente proyecto. Por lo tanto, y siguiendo la analogía con Nordergründe, solo sería posible sugerir que para cada ciclo de descenso del Nivel Base estratigráfico, la **profundidad local** en Cravo Norte pasó de rangos de 40-15m en la plataforma interior, a 15-10m en la zona de transición, y finalmente a intervalos de 10-5m (en marea baja) para las barras de arena que entran en contacto con el nivel base de olas.

El marco estratigráfico regional muestra que durante el Santoniano-Campaniano Temprano, la línea de costa se encontraba aproximadamente a 40 Km. al Sureste de donde hoy se encuentra Cravo Norte (Fig. 4). Teniendo en cuenta que el Miembro K1C pudo depositarse con posterioridad a este intervalo, que forma parte de una secuencia regresiva que conduce a los depósitos netamente continentales del Terciario (Capítulo 3), y la gran similitud que guarda con el ambiente submareal de Nordergründe (Fig. 28), es muy posible que en el momento de su depositación, la **línea de costa** se encontrara a una distancia menor, quizás 10-15km al Sureste ([Anexo 10](#)).

La **influencia fluvial** sobre el ambiente de depositación del K1C, pudo consistir en canales distributarios de un delta o ríos con desembocaduras como las de Nordergründe (Fig. 28), que se encontraban en las proximidades del área de estudio. Ambas opciones son posibles en la zona costera definida a escala regional por Tectonic Analysis (1998) (Fig. 4), dada la migración lateral de los

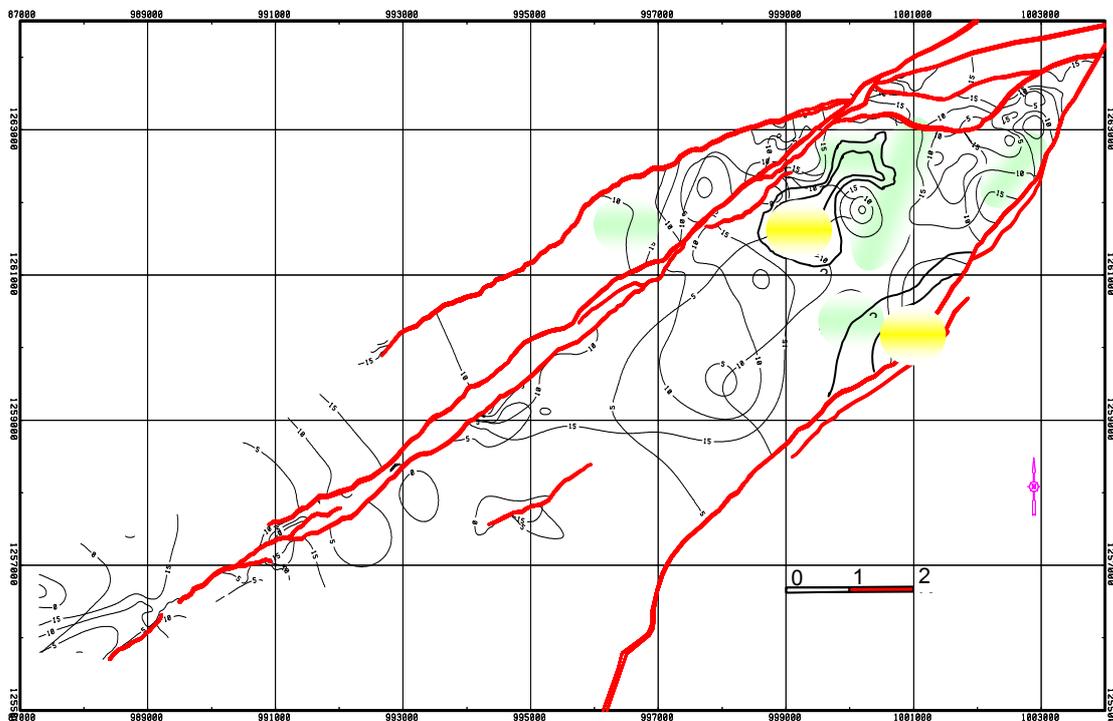
depocentros de una subunidad a su suprayacente (Fig. 40) y la falta de información detallada al Sureste de Cravo Norte. Solo se puede asegurar que en cualquiera de los dos casos no presentaba un patrón dominado por olas (Wave Dominated), debido a la ausencia de orientación paralela a la línea de costa (NE-SW) por parte de los cuerpos de arena K1C (Figuras 30-38).



**Figura 39.** Columna Estratigráfica Representativa 1:200 del Miembro Cretácico K1C, en Cravo Norte.

El **adelgazamiento** generalizado del K1C y la falta de continuidad en la morfología de sus subunidades al Oeste de la Falla de Caño Limón (Figuras 30 a 38 y Anexos 6 y 7), pueden deberse a la reactivación de dicho sistema de fallas, como consecuencia del inicio del levantamiento de la Cordillera Central a finales del Campaniano (Molina, 1991; y Tectonic Analysis, 1998). La falta de dataciones detalladas y la ausencia de rasgos que indiquen desplazamiento lateral, impiden corroborarlo.

El predominio de partículas de cuarzo monocristalino y formas subredondeadas (excepto los bioclastos marinos) en el armazón sugiere un transporte prolongado (Capítulo 5), mientras que la extinción ondulante es apreciable en algunos granos de cuarzo, indicando deformación dúctil, la cual es típica en rocas metamórficas (Friedman G., & Sanders J., 1978). Todo esto, unido a la escasez de feldespatos (incluyendo a los alterados diagenéticamente), apunta a un **fuelle lejano de sedimentos terrígenos**, como los son los complejos ígneo-metamórficos que conforman al Escudo Guayanés.



**Figura 40.** Superposición de los mapas Isópacos de las subunidades K1C2A y K1C2B. Los principales depocentros se han resaltado con colores (amarillo: K1C2A y verde: K1C2B), para ilustrar su migración lateral de una subunidad a su suprayacente.

## 10. IMPLICACIONES DEL AMBIENTE DE DEPOSITACION, EN LA PRODUCCION DE HIDROCARBUROS

La producción de hidrocarburos en Cravo Norte esta íntimamente ligada con la distribución de sus reservorios, la cual esta controlada por el ambiente de depositación. Como ya se vio en el capítulo anterior, el Miembro K1C se depositó en un ambiente marino somero, bajo la influencia de la desembocadura de cuerpos fluviales y mareales, dando con resultado cuerpos de arenas generalmente continuos, pero con zonas de marcados aumentos de espesor. En este capítulo se analizarán tales arenas desde el punto de vista petrofísico, para identificar la facies reservorio y así poder cartografiar su distribución en el campo.

### 10.1 DISTRIBUCION DE LOS RESERVORIOS DEL K1C

De las ocho subunidades definidas para el Miembro K1C, solo cinco contienen arenas reservorio: K1C1B, K1C1C, K1C2A, K1C2B y K1C2C. Los parámetros empleados en el presente proyecto, para que una litología sea considerada reservorio, son que su Porosidad Efectiva ( $\Phi_{eff}$ ) sea mayor o igual que el valor de corte y que el Volumen de Arcillas (Vcl) sea menor o igual que este. Por motivos de **confidencialidad** de la Compañía, no se emplearon los valores oficiales de Cravo Norte ni se pueden mencionar los algoritmos utilizados.

#### ✓ **Porosidad Efectiva ( $\Phi_{eff}$ ):**

Es el volumen de espacios vacíos en la roca, que se encuentran interconectados. Se calcula a partir de registros de pozo y pruebas petrofísicas sobre núcleos. Para el presente estudio se determinó a partir de registros eléctricos y se empleó una **porosidad efectiva mínima** de 14%, asumiendo que la mitad de la máxima porosidad encontrada (28%) en las areniscas del K1C (Ver Descripción petrográfica), se encuentra interconectada.

✓ **Porcentaje de Arcillas (Vcl):**

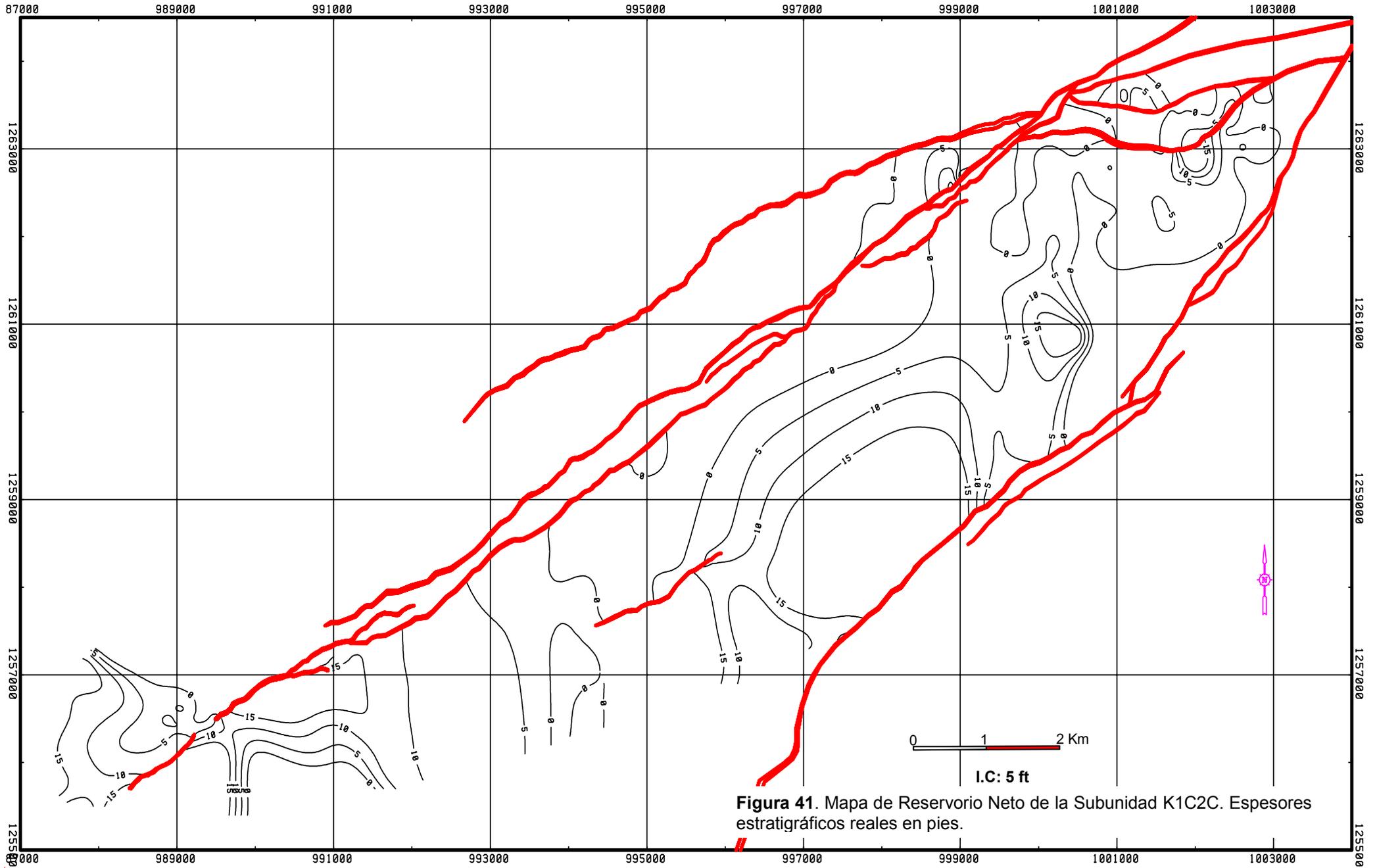
Consiste en el volumen total de arcillas que contiene una litología determinada. En el presente proyecto se calculo a partir del registro Gamma Ray, tomándose como **volumen máximo de arcillas** 30% de la máxima porosidad total encontrada (28%), teniendo en cuenta que la gran mayoría de las arenas del K1C presentan bioturbación, la cual es responsable de la **dispersión de las arcillas**. Esto quiere decir que solo las areniscas que posean una cantidad igual o menor del 8.4% ( $28 \times 30 / 100 = 8.4$ ) de arcillas del volumen total de roca, cumplen con el corte de arcillosidad.

Este volumen es en realidad un **Vshale**, pues al calcularse a partir de Gamma Ray, solo se consideran arcillas como la Illita y la Esmeclita, por su contenido de potasio (Ver Capitulo 6). Por lo tanto, se estaría pasando por alto a arcillas no radiactivas como la Caolinita, cuya presencia podría ser importante en las arenas del K1C (Capitulo 5).

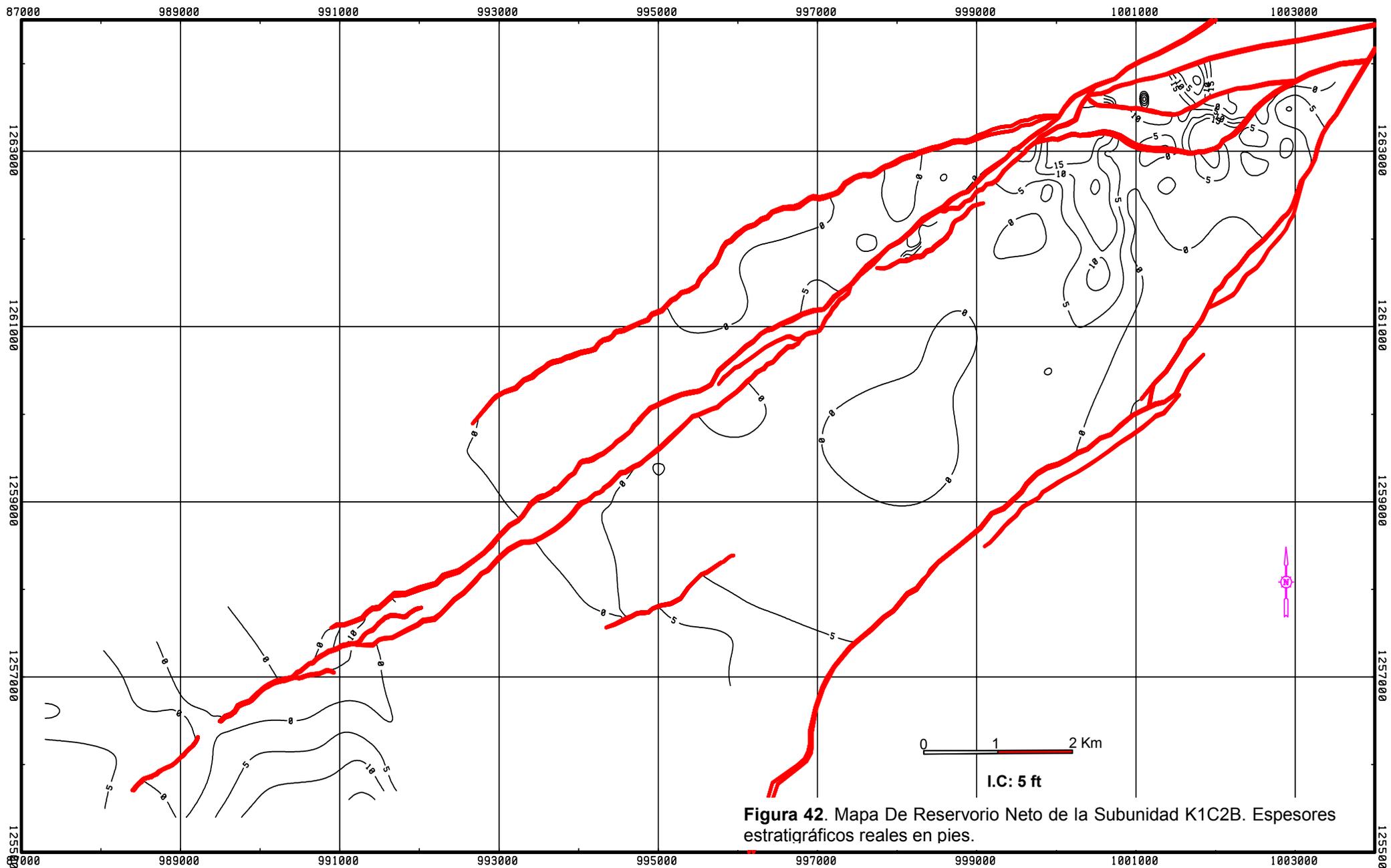
La resolución vertical del registro Gamma Ray es de 2 ft (60cm) y en las arenas con buenas impregnaciones de los corazones, tanto el shale **laminar** como el **estructural** (líticos) no superan el 5% del total de un segmento de esa longitud (Ver Anexos 1 a 4). Por consiguiente, al tomar un corte bajo de **arcillosidad dispersa total**, se compensaría el volumen de arcillas subestimado y solo cumplirían con el corte las arenas que físicamente mostraron que podían albergar hidrocarburos.

✓ **Mapas de Reservorio Neto (Net Reservoir)**

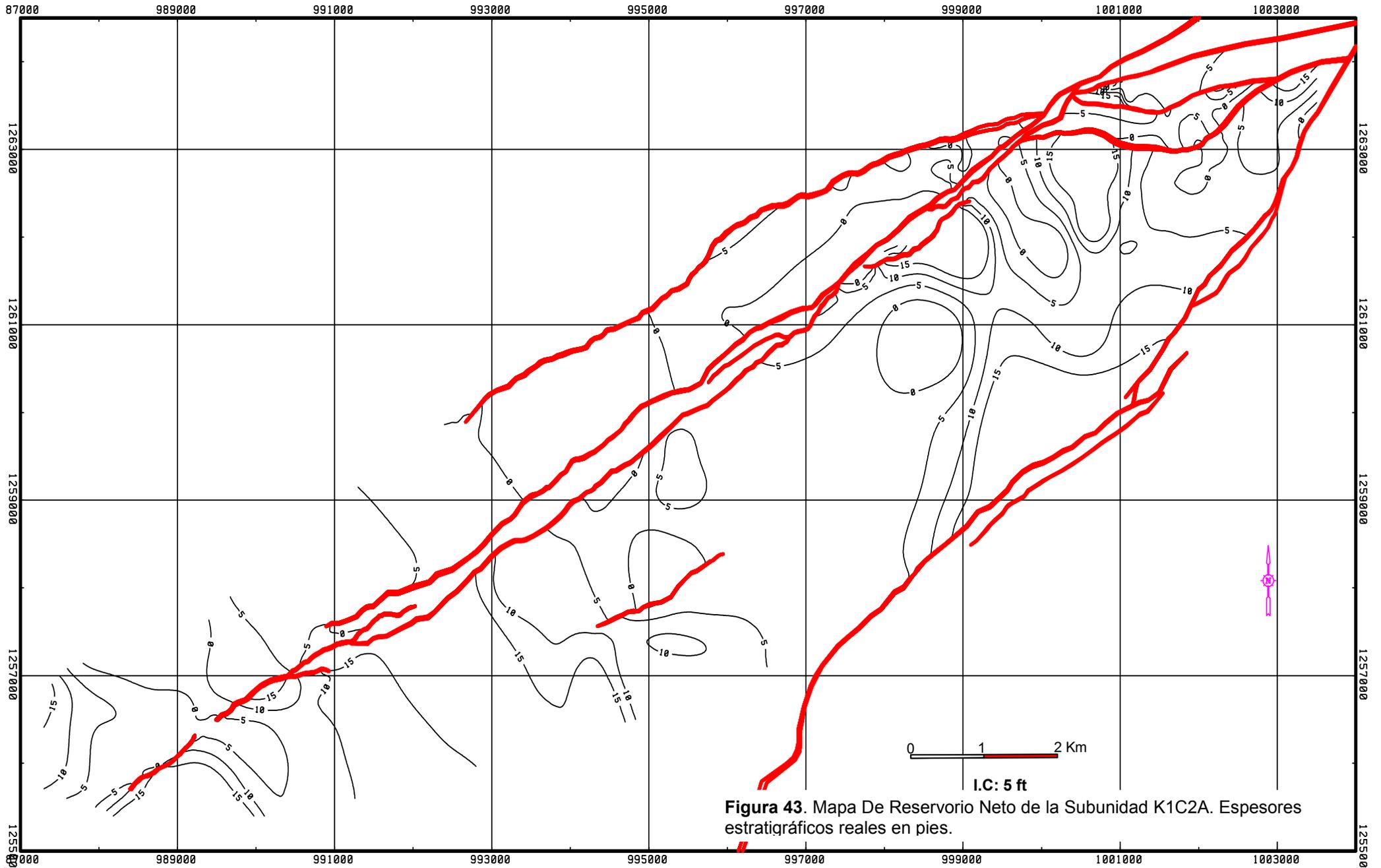
Las únicas arenas que clasificaron como reservorio, son las que se depositaron sobre el **nivel base de olas** (Fig. 39), las cuales son poseedoras de las menores intensidades de cementación y actividad biogénica. Por este motivo, serán consideradas como la **Facies Reservorio** del Miembro K1C, y se cartografían en las cinco subunidades que la contienen (Fig. 46), como **Mapas de Reservorio Neto** (Figuras 41 a 45). Como puede observarse en dichos mapas, se conserva la morfología y orientación NW analizadas en la determinación del ambiente depositacional, en el capítulo anterior.



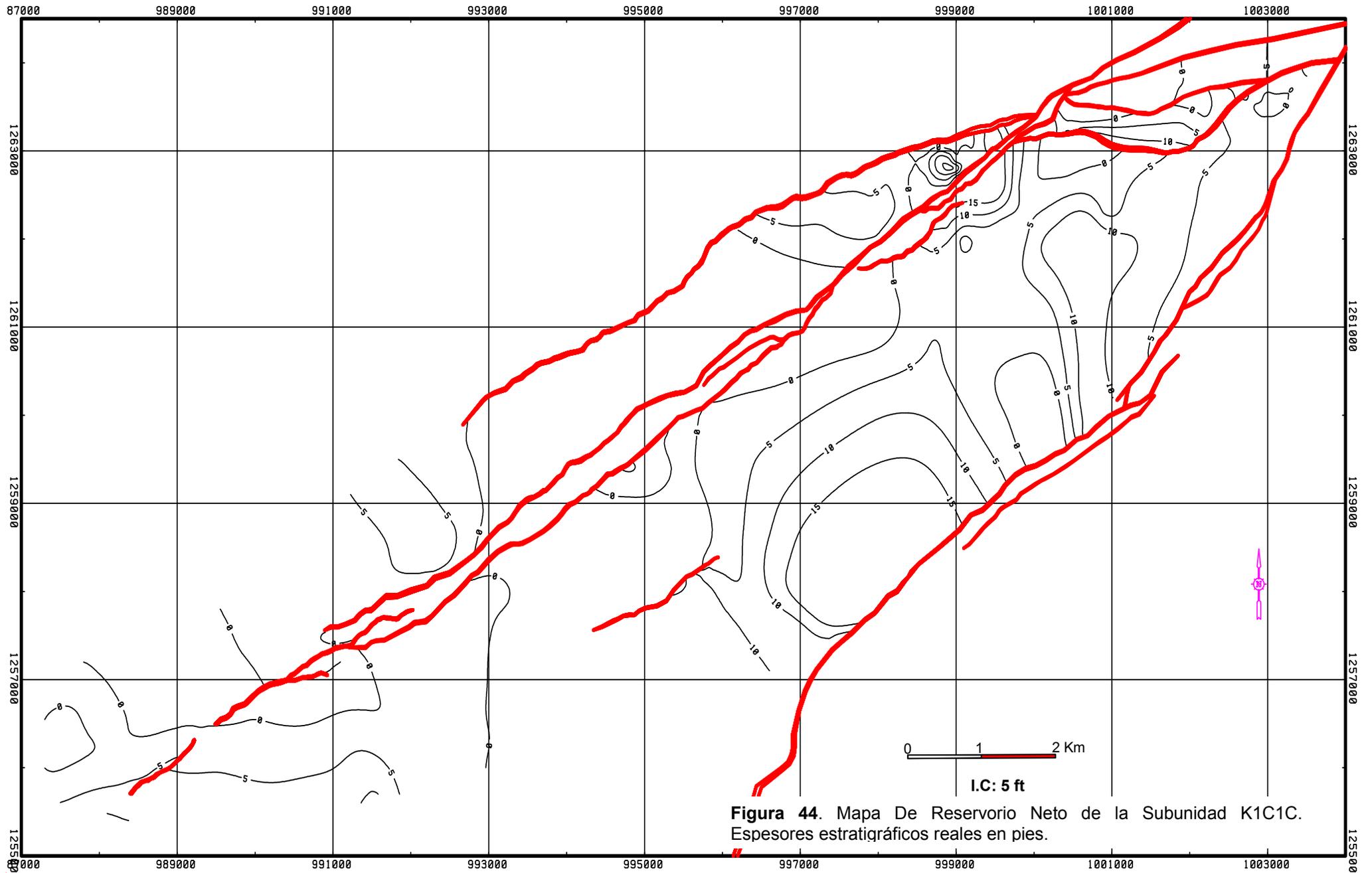
**Figura 41.** Mapa de Reservorio Neto de la Subunidad K1C2C. Espesores estratigráficos reales en pies.



**Figura 42.** Mapa De Reservorio Neto de la Subunidad K1C2B. Espesores estratigráficos reales en pies.



**Figura 43.** Mapa De Reservorio Neto de la Subunidad K1C2A. Espesores estratigráficos reales en pies.



**Figura 44.** Mapa De Reservoir Neto de la Subunidad K1C1C.  
Espesores estratigráficos reales en pies.

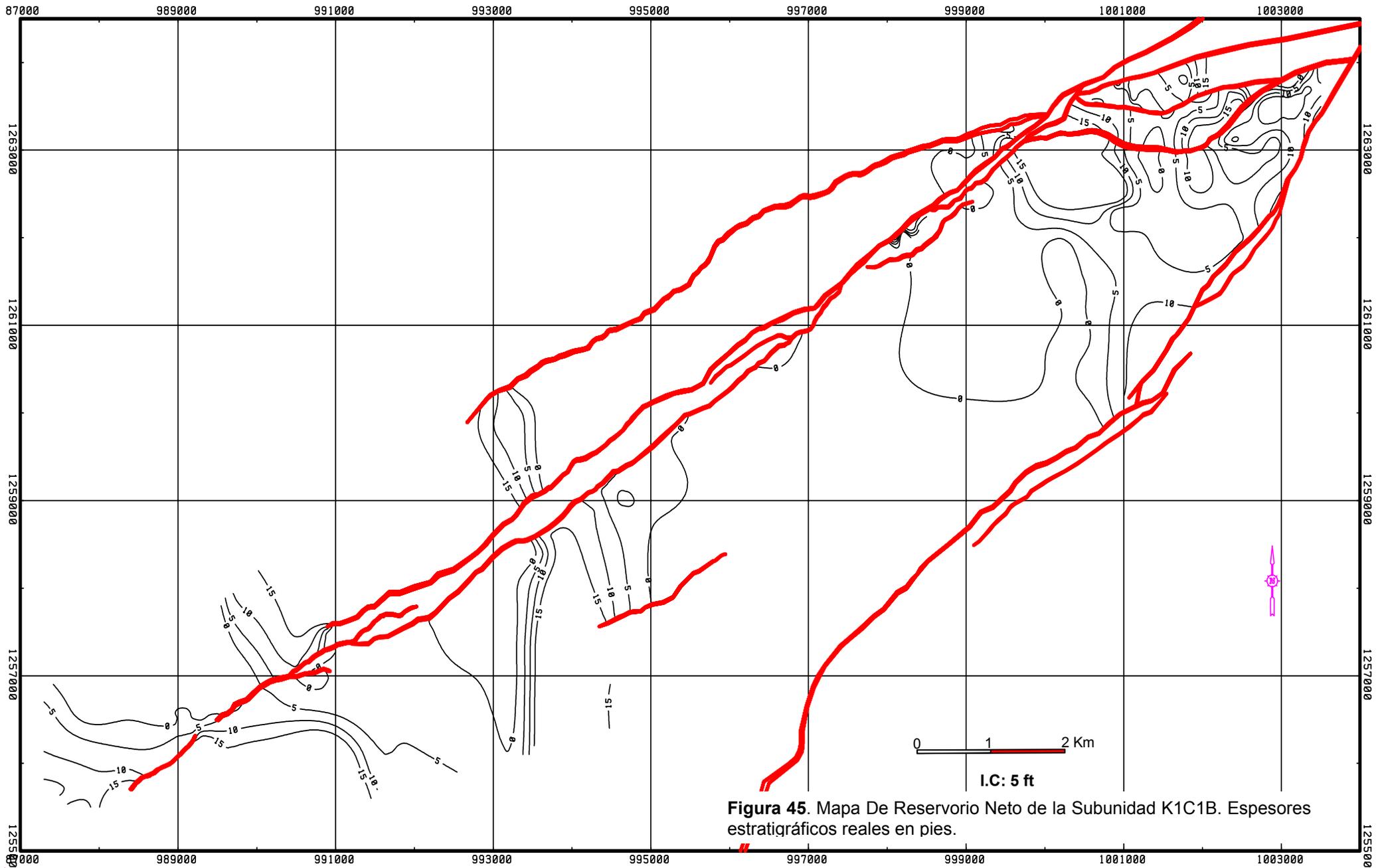


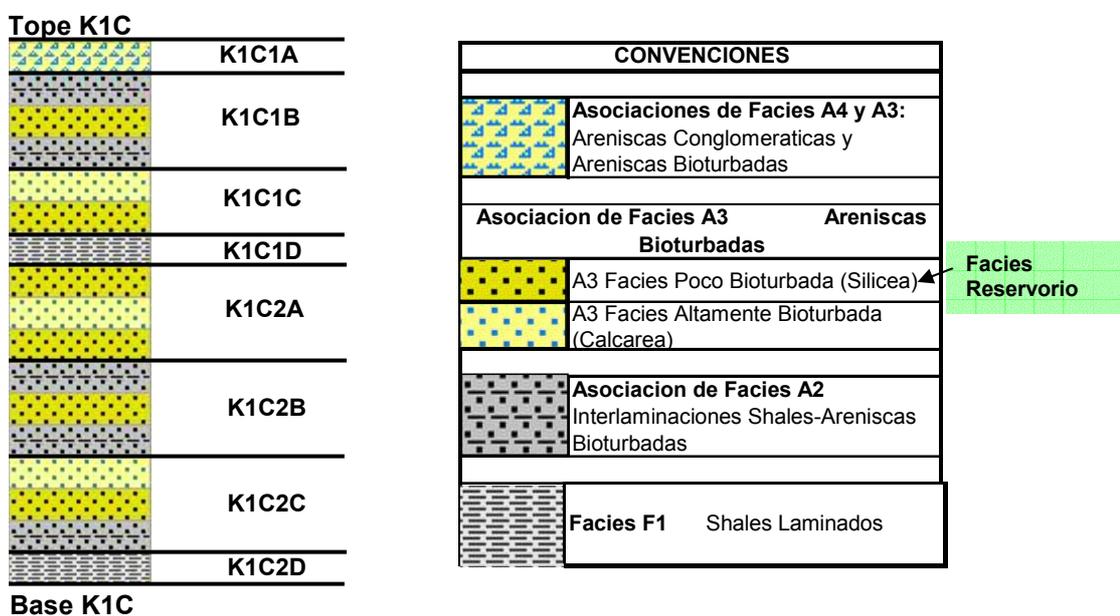
Figura 45. Mapa De Reservoirio Neto de la Subunidad K1C1B. Espesores estratigráficos reales en pies.

✓ **Mapas de Relación Reservorio/Unidad (Net to Gross)**

La determinación de las áreas con mayor concentración de reservorios en un área determinada, son muy importantes para la delimitación inicial de locaciones para pozos de desarrollo. Para ello, se hace una relación entre espesor de las **arenas reservorio** (Net Reservoir) y el espesor de la **unidad** (Gross Unit) que las contiene, conocida como relación “Reservorio/Unidad” (Net/Gross).

Sus valores están restringidos a un rango comprendido entre 0 y 1, pues el espesor de reservorio solo puede ser menor o igual a la unidad. Por lo tanto, se interpreta numéricamente como el **porcentaje de reservorio** de la unidad en cuestión.

A continuación se muestran los **Mapas de Reservorio/Unidad**, realizados como se vio anteriormente, a partir de las cinco subunidades que contienen a la Facies Reservorio.



**Figura 46.** Distribución Esquemática Vertical de la Facies Reservorio (A3 Poco Bioturbada) en el Miembro K1C. Esta Facies se asocia con los depósitos sobre el Nivel Base de Olas.

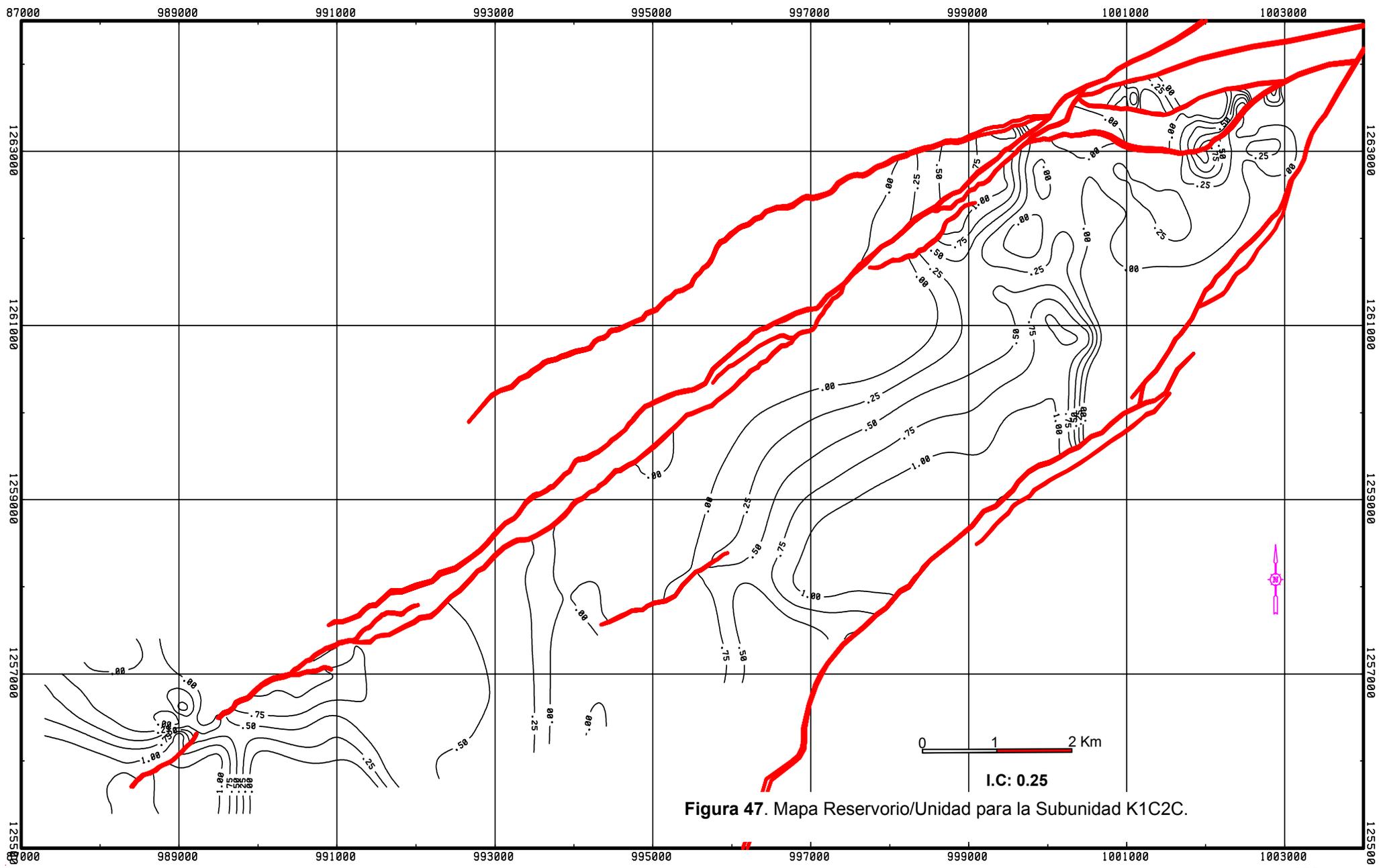
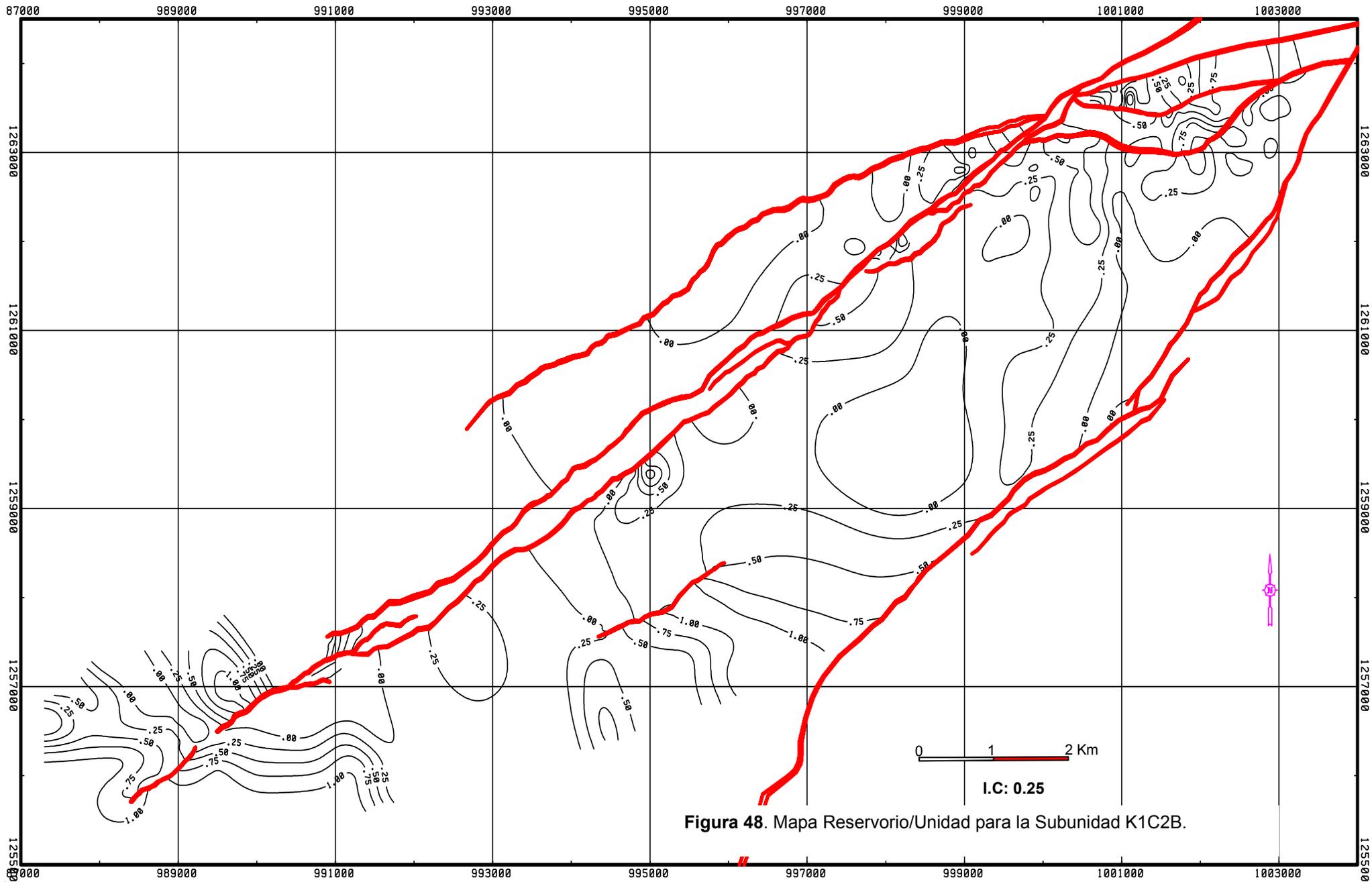


Figura 47. Mapa Reservoir/Unidad para la Subunidad K1C2C.



**Figura 48.** Mapa Reservorio/Unidad para la Subunidad K1C2B.

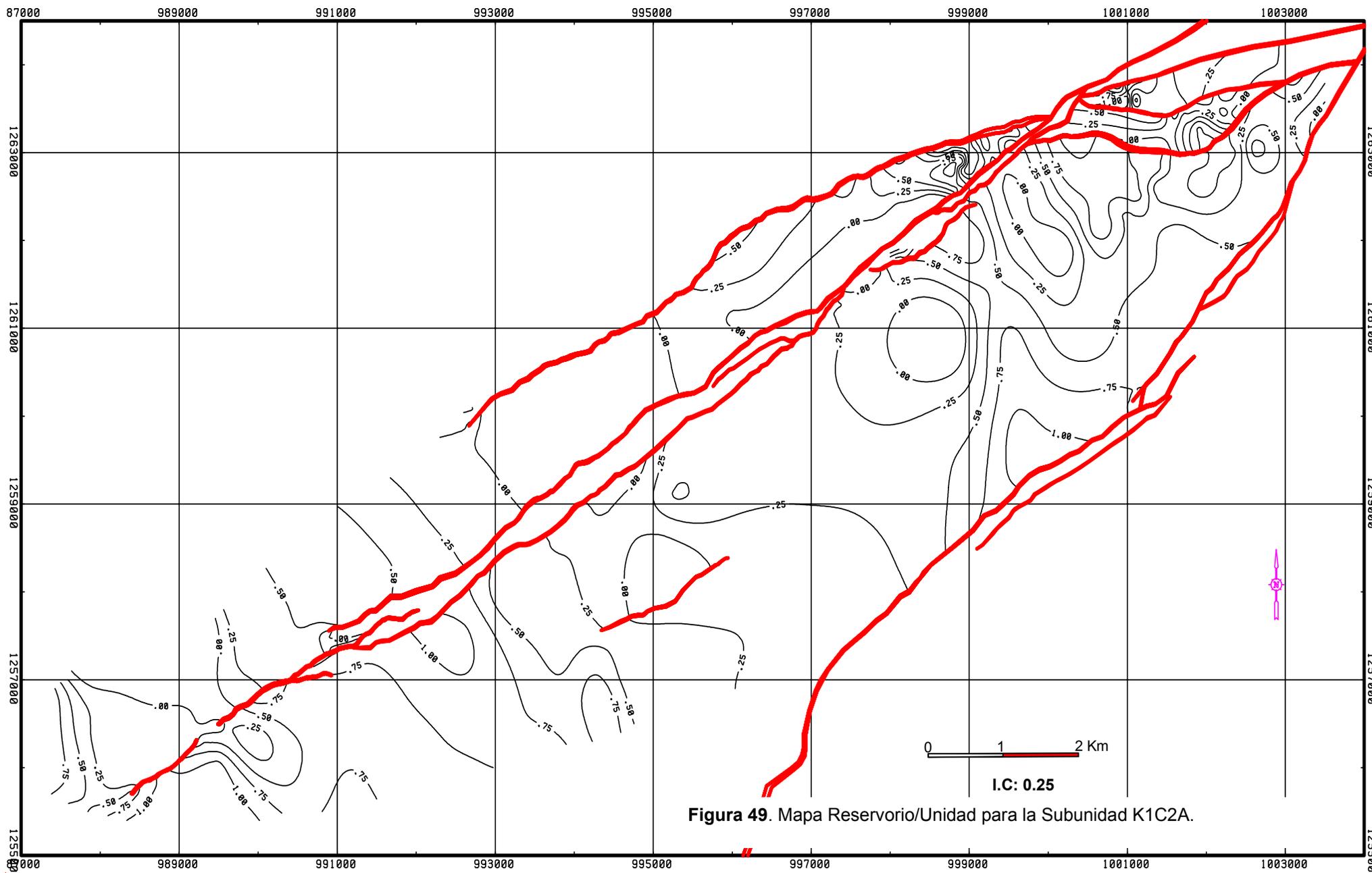


Figura 49. Mapa Reservoir/Unidad para la Subunidad K1C2A.

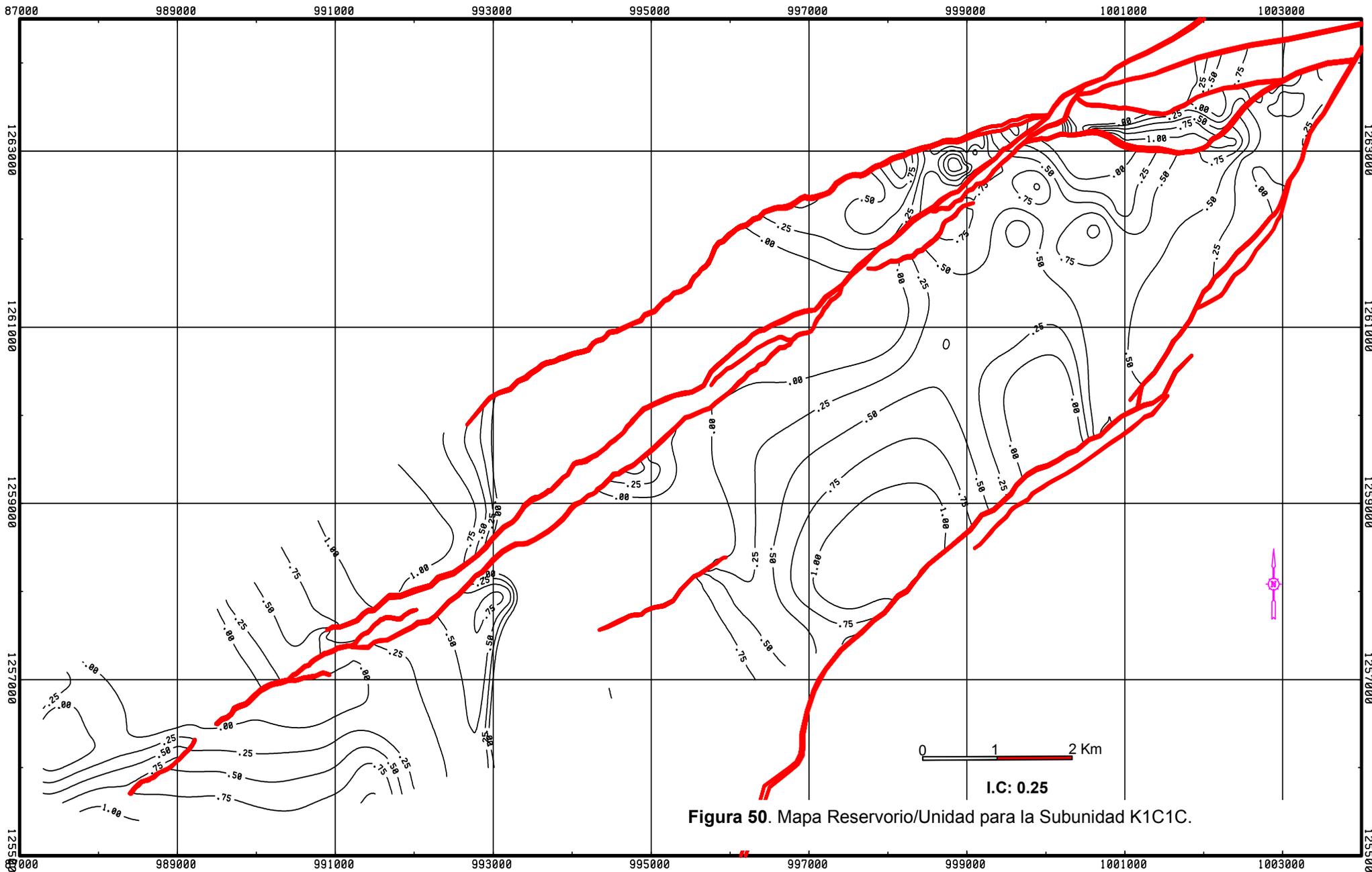


Figura 50. Mapa Reservoir/Unidad para la Subunidad K1C1C.



## 10.2 PRODUCCION DE HIDROCARBUROS EN EL MIEMBRO K1C

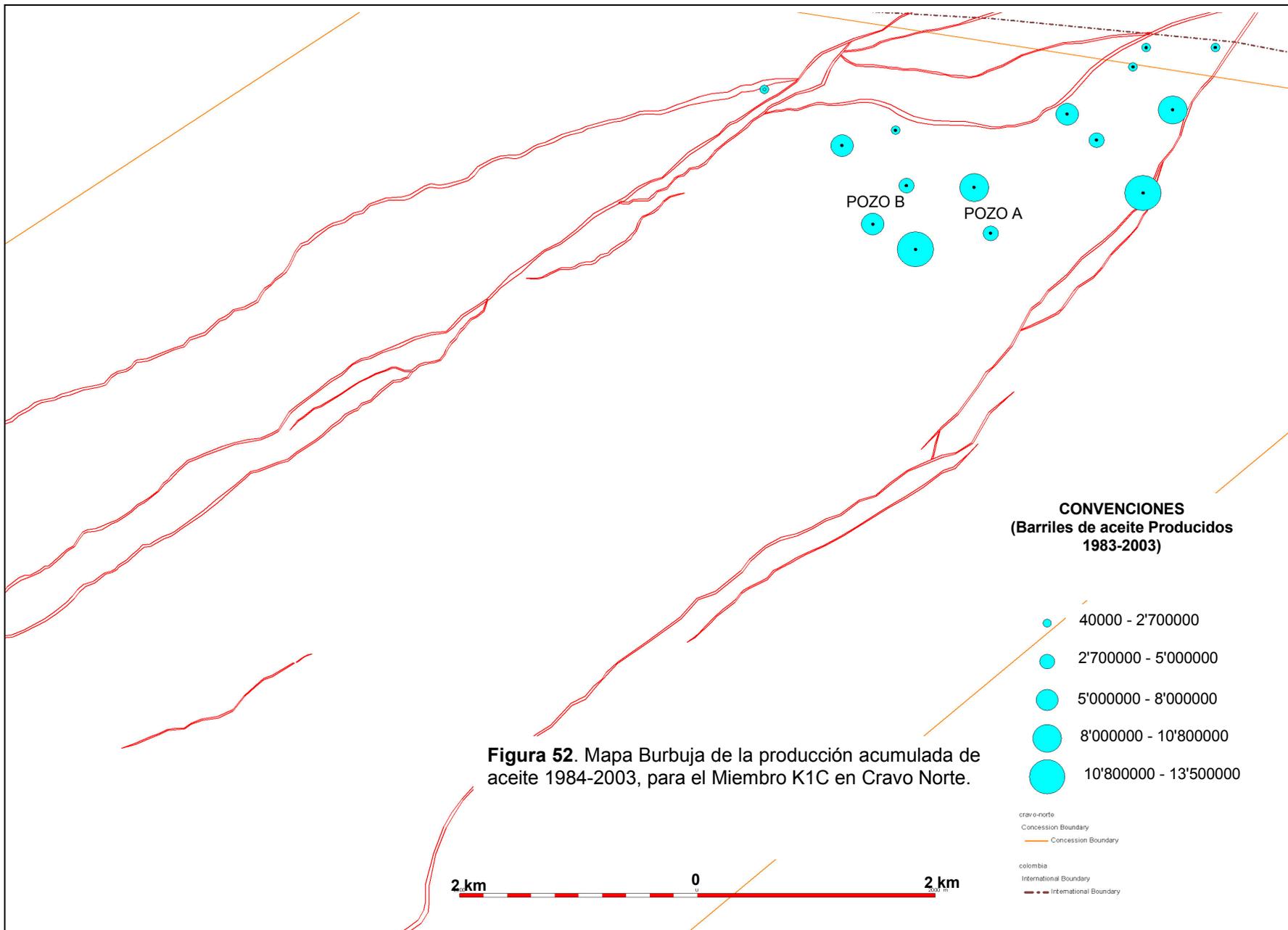
Para que la Facies Reservorio del K1C pueda ser completada como intervalo productor en un pozo determinado, debe poseer una cantidad comercial de aceite. Dicha cantidad esta determinada por los parámetros de Permeabilidad (k), Saturación de Agua (Sw) y lógicamente Saturación de Aceite (So), los cuales pueden ser medidos directamente sobre corazones o a partir de registros eléctricos. Por motivos de confidencialidad de la Compañía, no es posible citar sus valores oficiales.

### ✓ Producción Acumulada

En Cravo Norte, el Miembro K1C ha sido productivo casi exclusivamente en el área de La Yuca. Solo un pozo del área de Matanegra es productor en esta unidad (Fig. 52). El **volumen acumulado** de aceite producido desde Noviembre de 1984 hasta Junio de 2003, esta alrededor de 80 millones de barriles, lo cual representa cerca de un 8% de la producción acumulada del campo (Base de Datos Oxy, 2003).

De los pozos corazonados, solo el A y el B son productores (Fig. 52). Además de la escasez y baja proporción Reservorio/Unidad en los pozos C y D, sus saturaciones de aceite no eran suficientes.

Las cinco subunidades del K1C que contienen a la **Facies Reservorio** son productoras. Los intervalos completados en los pozos productores corresponden con estas arenas. Sin embargo, las pertenecientes a las subunidades **K1C1B** y **K1C1C** se encuentran abiertas en casi todos los pozos productores del K1C, a diferencia de las restantes K1C2A, K1C2B y K1C2C, que producen solo en casi la mitad de ellos (Base de Datos Oxy, 2003). Sin contar con datos de presión y permeabilidad (lo cual esta fuera del alcance de este proyecto), se puede sugerir que la razón radica en la mayor proporción Reservorio/Unidad (Net to Gross) en el área de la Yuca, para las primeras (Comparar Figuras 50 y 51 con 47 a 49).



**Figura 52.** Mapa Burbuja de la producción acumulada de aceite 1984-2003, para el Miembro K1C en Cravo Norte.

## 11. CONCLUSIONES

- ✓ En un intervalo de tiempo comprendido entre el Santoniano y el Campaniano, el Miembro Cretácico K1C se depositó entre la plataforma interior y el Nivel Base de Olas de un **mar somero y restringido** (posiblemente una bahía), que recibía el aporte de canales mareales con influencia fluvial. Los sedimentos terrígenos provienen de los complejos ígneo-metamórficos que conforman al **Escudo Guayanés**.
- ✓ La **influencia fluvial** sobre el ambiente de depositación del K1C, pudo consistir en canales distributarios de un delta o ríos con desembocaduras como las de Nordergründe-Mar del Norte, que se encontraban en la zona costera que muy posiblemente estaba de 10 a 15km al sureste de Cravo Norte. La ausencia de evidencias detalladas al suroriente del Campo, no permite corroborarlo.
- ✓ Se identificaron cuatro subambientes, representados por cuatro asociaciones de facies: (1) Shales Laminados de la **plataforma interior**; (2) Interlaminaciones bioturbadas de arena-shale de la **zona de transición**; (3) Arenas bioturbadas en contacto con el **nivel base de olas**; y (4) Arenas conglomeráticas, que posiblemente corresponden a depósitos basales de **canales mareales**.
- ✓ La estratigrafía del Miembro K1C muestra dos grandes ciclos de descenso del **nivel base estratigráfico** enmarcados en la secuencia regresiva de la Formación K1 Inferior, en los cuales los depósitos lodosos de la plataforma interior, dan lugar a las barras de arena que entran en contacto con el nivel base de olas, pasando por alternancias entre estas últimas y la zona de transición. Con base en oscilaciones menores de dicho nivel, se definieron ocho **subunidades**: K1C1A, K1C1B, K1C1C, K1C1D, K1C2A, K1C2B, K1C2C, y K1C2D.

- ✓ Los cuerpos de areniscas del K1C son **continuos horizontalmente**, con zonas de mayor espesor de 1 a 4 km<sup>2</sup> de extensión, con la mayor dimensión orientada hacia el Noroeste del Campo. Verticalmente están limitados por shales o interlaminaciones de shale-arenisca, mostrando espesores que van de 1 a 5ft en la mayor parte del campo, y de 5 a 15 ft en las zonas elongadas.
  
- ✓ Los **procesos diagenéticos** que afectaron al Miembro K1C son: (1°) Compactación Leve, (2°) Autigénesis de arcillas, (3°) precipitación de sílice y (4°) precipitación de Carbonato de Calcio. Esta secuencia de eventos afectó considerablemente la porosidad y composición de los intervalos arenosos de esta unidad.
  
- ✓ La porosidad de las arenas del K1C es de tipo **secundario**. El cemento calcáreo es el principal reductor de la porosidad primaria, seguido por las arcillas autigénicas y la precipitación de sílice.
  
- ✓ La **Facies Reservorio** la conforman las arenas depositadas sobre el Nivel Base de Olas (Facies A3 Poco Bioturbada). El mayor espaciamiento de sus estructuras sedimentarias, y su baja intensidad de bioturbación y cementación le confieren los porcentajes de porosidad efectiva y volumen de arcillas apropiados para clasificar como tal. En las demás areniscas del K1C, la dispersión de las arcillas por parte de la actividad biogénica y los posteriores procesos diagenéticos, principalmente la cementación calcárea, han disminuido enormemente su calidad petrofísica.
  
- ✓ La **producción acumulada** de aceite del Miembro Cretácico K1C (1984-2003) esta alrededor de 80 MMBO, lo cual equivale al 8% de la producción acumulada de Cravo Norte. Esta se concentra en las subunidades K1C1B y K1C1C y se limita al área de La Yuca. Esto puede deberse a que estas poseen

un mayor porcentaje de Facies Reservorio (Net to Gross) en esa área, que K1C2A, K1C2B, y K1C2C.

- ✓ Se recomienda realizar una caracterización petrofísica del Miembro K1C. La identificación y definición de sus unidades de flujo, junto con los datos actualizados de saturaciones de aceite y sus respectivas presiones, permitirían definir mejor su estado como yacimiento, y evaluar la proposición de nuevos pozos de desarrollo.

## BIBLIOGRAFIA

- ALARIK, I., 2003.** Caracterización Del Yacimiento Cretáceo K2A, Campo Matanegra, Area Cravo Norte, Departamento De Arauca. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Colombia. Bogota.
- AMOROCHO, J. D., 2001.** Evaluación Geológica del Contrato de Asociación Los Gavilanes, Cuenca de Los Llanos, Utilizando Interpretación Sísmica Y Correlación con Registros Eléctricos. Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- ARISTIZABAL, N., 2003.** Análisis Facial de La Unidad Cretácea K2A, Cravo Norte, Llanos Orientales, Colombia. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Colombia. Bogota.
- BASE DE DATOS OXY, 2003.** Occidental de Colombia Inc. Bogota.
- BERG, R. R., 1986.** Reservoir Sandstones. ED: Prentice-Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- BOGGS Jr, S., 1992.** Petrology of Sedimentary Rocks. ED: Macmillan Publishing Company. New York.
- BOGOTÁ, J., 1988.** Contribución Al Conocimiento Estratigráfico De La Cuenca De Los Llanos Orientales (Colombia). III Simposio Bolivariano De Exploración En La Cuencas Subandinas, Tomo I. pp. 308-346. Bogotá.
- CASTRO, E., 1989.** Sedimentary Environments of the Cretaceous in the Apiay Area of the Llanos Basin: Colombia, South America. Department of the Geological Sciences, University Of South Carolina.

- CLEVELAND M., Y MOLINA J., 1990.** Deltaic Reservoirs of the Caño Limón Field, Colombia, South America. Casebooks in Earth Science: Sandstone Petroleum Reservoirs. pp. 281-315. ED: Springer-Verlag Inc. New York.
- COLMENARES B. J., ET AL, 1988.** Estudio Estratigráfico Cuenca Llanos Orientales De Colombia, Sector Arauca. Memorias III Congreso Colombiano Del petróleo, Tomo II, pp.29-55.
- COOPER M. A., ET AL, 1995.** Basin Development And Tectonic History Of The Llanos Basin, Colombia. Petroleum Basins Of South America: Memoria N°62 de la A.A.P.G., pp. 659-665.
- CORREA, A., 1993.** Análisis Paleoambiental e Influencia de Los Procesos Diagenéticos en La Unidad K1 Del Campo Caño Limón. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional De Colombia. Bogota.
- FAJARDO, A., 2002.** Conferencia: Estratigrafía de Secuencias, Aplicaciones en La Exploración de Hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología. Bucaramanga.
- FOLK, R. L. et al, 1968.** Detrital Sedimentary Rock Classification and Nomenclature for Use in New Zealand: New Zealand Jour. Geology and Geophysics, Vol. 13. pp. 937-968.
- FRIEDMAN, G., AND SANDERS, J., 1978.** Principles of Sedimentology. ED: Springer-Verlag. New York. pp. 270-554.

**GABELA, V. H., 1985.** Campo Caño Limón, Llanos Orientales de Colombia. II Simposio: Exploración Petrolera en Las Cuencas Subandinas. pp. 1-29. Bogota.

**GEOLOGIA DE DESARROLLO OXY, 2003.** Interpretación Equipo De Geología De Desarrollo Occidental de Colombia Inc. Bogota.

**MIER U. R., 1994.** Ejercicios Geología Del petróleo. Publicaciones Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

**MOLINA, J., 1991.** Evolución Estructural, Migración, Entrampamiento y Remigración de Los Hidrocarburos de Caño Limón, Colombia. Departamento de Exploración, Occidental de Colombia Inc. Bogota.

**MORALES, D., 1996.** Interpretación Sísmica y Análisis Estructural del área correspondiente al Proyecto Villavicencio, localizado en el piedemonte sur de los Llanos Orientales (Colombia). Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

**REINECK, H.E. and SINGH, I.B., 1973.** Depositional Sedimentary Environments: With Reference To Terrigenous Clastics. ED: Springer-Verlag. New York-Heidelberg Berlin.

**SCHLUMBERGER, 1989.** Log Interpretation: Principles / Applications. ED: Schlumberger Educational Services. Houston (Texas), USA.

**SERRANO, M. & URREGO, A. 1996.** Análisis Estratigráfico Secuencial de La Sucesión Sedimentaria Cretácica y Paleógena en el Area de Cravo Norte, Departamento de Arauca. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Colombia. Bogota.

**TECTONIC ANALYSIS INC., 1998.** Exploration Geological Framework Atlas Series, Volume I: Colombia. Bogotá.

**WALKER, R. G. & JAMES, N. P., 1992.** Facies Models: Response to Sea Level Change. Geological Association of Canada. Ontario, Canada.

## ANEXOS

[Anexo 1 Corazon Pozo A.xls](#)

[Anexo 2 Corazon Pozo B.xls](#)

[Anexo 3 Corazon Pozo C.xls](#)

[Anexo 4 Corazon Pozo D.xls](#)

[Anexo 5 Correl Estrat N-S.xls](#)

[Anexo 6 Correl Estrat K1C E-W.xls](#)

[Anexo 7 Correl Estrat Cret E-W.xls](#)

[Anexo 8 Correl Estruct N-S.xls](#)

[Anexo 9 Correl Estruct E-W.xls](#)

[Anexo 10 Mapa Paleogeográfico.xls](#)

