



---

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y BIOESTRATIGRÁFICA DEL LÍMITE CENOMANIENSE - TURONIENSE DE LA FORMACIÓN LA LUNA, QUEBRADA LA ORTIZA, ESTADO TÁCHIRA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por las Brs.  
Hernández C. Karina C.  
Pérez P. Isabel E.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2008



---

## TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

# CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y BIOESTRATIGRÁFICA DEL LÍMITE CENOMANIENSE - TURONIENSE DE LA FORMACIÓN LA LUNA, QUEBRADA LA ORTIZA, ESTADO TÁCHIRA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Lenin González

CO-TUTOR ACADÉMICO: Prof. Olga Rey, PhD

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por las Brs.  
Hernández C. Karina C.  
Pérez P. Isabel E.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2008



Caracas, 07 de Noviembre de 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las Bachilleres Hernández C. Karina C. y Pérez P. Isabel E., titulado:

**“CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y BIOESTRATIGRÁFICA  
DEL LÍMITE CENOMANIENSE - TURONIENSE DE LA FORMACIÓN  
LA LUNA, QUEBRADA LA ORTIZA, ESTADO TÁCHIRA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran **APROBADO.**

Prof. Rafael Falcón  
Jurado

Prof. Sebastián Grande  
Jurado

Prof. Lenin González  
Tutor Académico

Prof. Olga Rey, PhD  
Co-Tutor Académico



---

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Central de Venezuela**, en especial a la **Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería**, por todos los conocimientos y aprendizajes impartidos a lo largo de nuestro desempeño como estudiantes.

A los tutores académicos, profesor **Lenin González** y profesora **Olga Rey**, por brindarnos siempre su apoyo y orientación en nuestra formación como profesionales de las Ciencias de la Tierra.

Al laboratorio de petrología ígneo- metamórfica y geoquímica (330), en especial al profesor **Franco Urbani** y al **Ing. David Mendi**, por su apoyo y colaboración a lo largo del desempeño de este trabajo especial de grado

Al personal de la Biblioteca de la **Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería**, en especial a la señora **Morella Mikati** y **Ángel Labrador**, por su valiosa colaboración.

A **Hildemaro Rodríguez**, por su apreciada y espontánea colaboración en este trabajo especial de grado.

A **Arturo Espinoza**, por su gran apoyo e incentivo a lo largo de la elaboración de nuestro trabajo especial de grado.

Muy especialmente a **Néstor Marín**, por su colaboración, sus grandes ideas, su apoyo, su esfuerzo y amistad incondicional, Néstor que Dios y la Virgen te bendigan y acompañen, estaremos agradecidas por siempre.

A **Jesús Quintero**, por siempre escucharnos y acompañarnos en nuestros momentos de espera en el sofá.



---

### **Agradecimientos de Karina Hernández**

A **Dios** por acompañarme en todo momento y guiarme siempre por el mejor camino.

A mis **padres** por todo el esfuerzo que han realizado para llevarme hasta donde estoy, por ser mi apoyo, y darme todo su amor. Los amo.

A mi **abuela Fide** por ser mi segunda madre.

A mi **familia** y **amigos** por acompañarme en cada momento de mi vida.

A **Isabel**, por su paciencia y amistad incondicional.

A **Verónica Alonso** por siempre darme su apoyo, y por su apreciada colaboración en este trabajo especial de grado

A **David Mendi** por todo su apoyo y colaboración

### **Agradecimientos de Isabel Pérez**

A **Dios** por sobre todas las cosas, arquitecto universal por otorgarme la vida.

A mi **Abuelita Isabel**, mi pilar fundamental, por su valiosa y abnegada crianza, sus bendiciones y por estar siempre pendiente.

A **Amarilys**, por su constante esfuerzo, dedicación y apoyo en todos los momentos de mi vida, gracias mami por todo ese amor, te amo.

A **Eunice Mercedes**, por ser mi amiga, mi prima, mi hermana y a la vez como mi madre.



A **Jesús Ernesto**, por su apoyo a lo largo de mi carrera.

A **mi familia**: tías, tíos, primas y primos. Los quiero y siempre los recuerdo.

A **Karina**, que además de mi compañera de tesis, amiga incondicional, gracias por ese apoyo, paciencia y optimismo que siempre me brindas.

A **Luis Miguel**, por ser tan especial y por su apoyo en todo momento.

A **mis amigos y amigas**, que me acompañan en las buenas y en las malas, que siempre han estado allí a la hora exacta y en el momento correcto, en especial a **Mary Alexandra Gerbasio, Yulimar Millán, Marlys Reveti, Claudia Alba, Emma Arvelo, Erick Quintero, Luis Javier Zurbarán, Hildemaro Rodríguez, Andrés Malavé, Ronny Carrero, José Luis Romero, Melisa Sánchez, Kely Pérez, Néstor Marin, Oscar Utrera, Maybelle Granadino y Johely Zurita.**

A los profesores **Abilio Carrillo** y **Marianela Blanco**, por creer en mí y brindarme todo su apoyo.

A **Miguel Ángel Molina, Iraida Rojas, Kisbeth Escobar, Nacaris Montilla, Yoreima Rojas, Ana Colarusso, María Elena Ramírez, Nury Guarán, Alba Estupiñan, Ana María Rodríguez y María Teresa Espinoza**, por su colaboración espontánea y desinteresada.



**Hernández C., Karina C.**

**Pérez P., Isabel E.**

**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y BIOESTRATIGRÁFICA  
DEL LÍMITE CENOMANIENSE - TURONIENSE DE LA FORMACIÓN  
LA LUNA, QUEBRADA LA ORTIZA, ESTADO TÁCHIRA**

**Tutor Académico: Prof. Lenin González. Co-Tutor Académico: Prof. Olga  
Rey, PhD. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología,  
Minas y Geofísica. Año 2008, 132 p.**

**Palabras Claves:** QUIMIOESTRATIGRAFÍA, BIOESTRATIGRAFÍA,  
CRETÁCICO, CUENCA DE MARACAIBO.

**Resumen.** El objetivo de este trabajo fue la caracterización de la Formación La Luna en la sección de la quebrada La Ortiza (estado Táchira), por medio de análisis geoquímicos y bioestratigrafía.

Los análisis geoquímicos se realizaron a 138 muestras recolectadas a intervalos de 20 cm por Adatte y González en el año 2005, utilizando el método de la fluorescencia de rayos X por dispersión de energía. Se determinaron 7 elementos mayoritarios ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), y 9 elementos traza (Co, Mo, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn, Zr). A partir de estos elementos se obtuvieron 8 relaciones químicas ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}/\text{Ni}$ ,  $\text{Ni}/\text{Co}$ ,  $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$ ,  $\text{Zr}/\text{Al}$ ).

El análisis bioestratigráfico se llevó a cabo a través de secciones finas, realizadas a 22 de las 138 muestras; obteniéndose como resultado la presencia de foraminíferos pláncnicos y béticos.

Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis estadísticos y perfiles de concentración, con lo cual se logró dividir la sección en tres unidades químicas. Con la información bioestratigráfica y geoquímica se pudo determinar que la sección de la quebrada La Ortiza, no presenta las mismas características que la sección tipo de la Formación La Luna, sino que por el contrario se depositó en un ambiente somero con variaciones cíclicas en el nivel de oxígeno, con aporte de material terrígeno, en el lapso Cenomaniense-Turonense(?).



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ÍNDICE GENERAL	ii
FIGURAS	v
TABLAS	vii
LISTA DE ANEXOS	viii
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 OBJETIVO GENERAL	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4 ALCANCE	3
1.5 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
1.6 TRABAJOS PREVIOS	5
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	
2.1 ETAPA I. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	9
2.2 ETAPA II. ANÁLISIS DE LABORATORIO	9
2.2.1 CONSTRUCCIÓN DE LA COLUMNA	10
ESTRATIGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS DE	
MANO	
2.2.2 ANÁLISIS QUÍMICOS	10
2.2.2.1 Fluorescencia de rayos X por dispersión de energía	14
(FRX-DE) con fuente de tubo de Rh	
2.2.2.2 Fluorescencia de rayos X por dispersión de energía	16
(FRX-DE) con fuente radiactiva de <sup>109</sup> Cd	
2.2.3 ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y BIOESTRATIGRÁFICO	18
2.3 ETAPA III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	19



## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

3.1 GEOQUÍMICA	21
3.2 APLICACIONES DE LA GEOQUÍMICA	24
3.2.1 PERFILES DE DISTRIBUCIÓN	24
3.2.2 TÉCNICA DE ESTIMACIÓN DE TENDENCIAS (PROMEDIO MÓVIL)	25
3.2.3 RELACIONES ELEMENTALES	26
3.3 RAYOS X. NOCIONES BÁSICAS	30
3.4 ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X	31
3.4.1 EFECTO DE LA MATRIZ	32

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO GEOLÓGICO**

4.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL OCCIDENTE DE VENEZUELA	34
4.1.1 JURÁSICO	36
4.1.2 CRETÁCICO	36
4.1.2.1 Barremiense - Hauteriviense	39
4.1.2.2 Aptiense	40
4.1.2.3 Albiense	40
4.1.2.4 Cenomaniense-Coniaciense	42
4.1.2.5 Santoniense-Campaniense	46
4.1.2.6 Maastrichtiense	48
4.2 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL DEL OCCIDENTE DE VENEZUELA	48

## **CAPÍTULO V**

### **DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

5.1 GEOLOGÍA LOCAL	51
5.2 DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES QUÍMICAS	53
5.1.1 UNIDAD Q1	58



---

5.1.2 UNIDAD Q2	61
5.1.3 UNIDAD Q3	63
5.2 ANÁLISIS DE LOS HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA	70
5.3 ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS DE CAJA	78
5.4 ANÁLISIS DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES	89
5.4.1 FUNCIÓN DISCRIMINANTE POR UNIDAD	89
5.4.2 FUNCIÓN DISCRIMINANTE DE LAS LUTITAS	92
5.4.3 FUNCIÓN DISCRIMINANTE POR LITOLOGÍA	94
5.5 ANÁLISIS PETROGRÁFICO	97
5.6 ANÁLISIS BIOESTRATIGRÁFICO	99
5.6.1 DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA	101
5.6.2 INTERPRETACIÓN PALEOBATIMÉTRICA	102
5.6.3 EDAD	103
5.7 MARCO GEOLÓGICO DE SEDIMENTACIÓN	108
<b>CAPÍTULO VI</b>	
6.1 CONCLUSIONES	112
6.2 RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS	115
ANEXOS	



## FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Mapa de ubicación de la zona de estudio	4
Figura 2.1 Equipo de molienda Shaterbox	11
Figura 2.2 Muestra Pulverizada	13
Figura 2.3 Secado de la muestra	13
Figura 2.4a Prensa	14
Figura 2.4b Pastilla	14
Figura 2.5 Espectrómetro de rayos X por energía dispersiva	14
Figura 2.6 Colocación de las muestras en el contenedor móvil del Minipal	15
Figura 2.7 Espectrómetro Niton XL-722S, serie 700	16
Figura 2.8 Montaje del equipo sobre la muestra en su plataforma de análisis	17
Figura 2.9 Características de la pantalla del equipo Niton XL-722S serie 700	18
Figura 3.1 Perfiles químicos de cinco relaciones elementales de mayoritarios	25
Figura 3.2 <b>A</b> Perfil de distribución original. <b>B</b> Perfil de distribución con promedio móvil 3	26
Figura 3.3 Espectro Electromagnético	30
Figura 4.1 Supersecuencias del occidente de Venezuela	35
Figura 4.2 Subcuencas cretácicas en el occidente de Venezuela	38
Figura 4.3 Mapa paleogeográfico en el Albiense tardío	42
Figura 4.4 Mapa paleogeográfico en el Cenomaniense	43
Figura 4.5 Mapa paleogeográfico en el Turoniense	46
Figura 4.6 Mapa paleogeográfico en el Campaniense	47
Figura 5.1 Mapa geológico estructural de San Cristóbal, estado Táchira	52



Figura 5.2 Histogramas de frecuencia de los elementos mayoritarios y traza de la sección La Ortiza	71
Figura 5.3 Diagramas de caja de elementos mayoritarios y traza de la sección La Ortiza	79
Figura 5.4 Diagramas de caja generales de la sección de estudio	83
Figura 5.4a Elementos Mayoritarios	83
Figura 5.4b Elementos Traza	83
Figura 5.5 Diagramas de caja de elementos mayoritarios y traza por unidad de la sección La Ortiza	86
Figura 5.6 Función discriminante por unidad química	90
Figura 5.7 Función discriminante de las lutitas	92
Figura 5.8 Función discriminante por litología	94
Figura 5.9 Representación porcentual e ilustrativa de los tipos petrográficos de la Formación La Luna en la sección de estudio.	97
Figura 5.10 Efectos diagenéticos de la Formación La Luna en la zona de estudio.	98
Figura 5.11 Características generales de las petrografías de la sección quebrada La Ortiza.	99
Figura 5.12 Macrofósiles de fragmentos de moluscos pertenecientes a la zona de estudio.	100
Figura 5.13 Fotomicrografías de los foraminíferos identificados en la sección de estudio.	101
Figura 5.14 Correlación cronoestratigráfica de la Formación La Luna en el occidente de Venezuela.	106



## TABLAS

	Página
Tabla 3.1 Tabla de la composición típica de algunas rocas sedimentarias realizada por ALBERDI & TOCCO (1999).	23
Tabla 4.1 Secuencias estratigráficas del Cretácico en Venezuela occidental	49
Tabla 5.1 Valores expresados en porcentaje de los elementos mayoritarios para la sección La Ortiza	53
Tabla 5.2 Valores expresados en ppm de los elementos traza para la sección La Ortiza	57
Tabla 5.3 Valores máximos, mínimos y promedios de los elementos mayoritarios en %, referidos a toda la sección estudiada.	66
Tabla 5.4 Valores máximos, mínimos y promedios de los elementos traza en ppm, referidos a toda la sección estudiada.	67
Tabla 5.5 Valores máximos, mínimos y promedios de las relaciones químicas con los elementos mayoritarios, referidos a toda la sección estudiada	68
Tabla 5.6 Valores máximos, mínimos y promedios de las relaciones químicas con los elementos traza, referidos a toda la sección estudiada	69
Tabla 5.7 Tipos de distribución y valores máximos alcanzados por los polígonos de frecuencia en los histogramas de frecuencia	74
Tabla 5.8 Cuadro descriptivo de los diagramas de caja de la sección La Ortiza	82
Tabla 5.9 Clasificación por funciones discriminantes	91
Tabla 5.10 Clasificación por funciones discriminantes lutitas	93
Tabla 5.11 Clasificación por funciones discriminantes por Litologías	95



---

## LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1 Columna estratigráfica, quebrada La Ortiza, estado Táchira
- ANEXO 2 Perfiles de los elementos mayoritarios en la sección La Ortiza
- ANEXO 3 Perfiles del promedio móvil 3 de los elementos mayoritarios en la sección La Ortiza
- ANEXO 4 Perfiles de los elementos traza en la sección La Ortiza
- ANEXO 5 Perfiles del promedio móvil 3 de los elementos traza en la sección La Ortiza
- ANEXO 6 Perfiles de las relaciones químicas de los elementos mayoritarios y traza en la sección La Ortiza



## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

La cuenca cretácica del occidente de Venezuela se desarrolló bajo condiciones tectónicas tipo margen pasivo. La presencia de intervalos anóxicos dentro de la Formación La Luna suele asociarse principalmente a las características de dicha cuenca, que presenta un paleorelieve irregular (barreras paleogeográficas) que originó diferentes zonas con variable circulación, aguas estancadas y diferente régimen sedimentario. Por tanto, se establecieron zonas de mayor profundidad (surcos) con características litológicas y paleoambientales bien definidas, que han sido denominadas como subcuencas (GARCÍA JARPA *et al.*, 1980).

En trabajos de campo realizados por KERTZNUS (2002) y ZAPATA (2003), se descubrieron secciones de afloramientos de la Formación La Luna en los Andes Venezolanos, donde se han observado variaciones sedimentológicas, bioestratigráficas y quimioestratigráficas que permitieron proponer varias secuencias depositacionales desarrolladas durante el Cretácico Tardío (ZAPATA *et al.*, 2006). En un estudio realizado por DAVIS *et al.*, (1999), de la concentración de carbono orgánico y de elementos mayoritarios y traza en la Formación La Luna, en el occidente de Venezuela, las variaciones geoquímicas observadas reflejan una influencia combinada de cambios relativos del nivel del mar, volcanismo episódico, variaciones en la intensidad de las corrientes de surgencia y alteraciones geoquímicas.

Varios eventos transgresivos han sido reportados para el Cretácico Tardío en esta cuenca, cuyas superficies de máxima inundación son coincidentes con la curva de HAQ (1988), evidenciados en la base de la Formación La Luna, en la Formación Navay y en el Miembro Tres Esquinas (LUGO & MANN, 1995). En otro estudio sobre



los ambientes depositacionales, geoquímica y paleoceanografía del occidente de Venezuela durante el Cretácico Tardío, realizado por ERLICH (1999), se señala la existencia de cuatro eventos transgresivos que se produjeron en el Albiense tardío- Cenomaniense, Cenomaniense- Turoniense, Coniaciense- Santoniense y Campaniense- Maastrichtiense.

## **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Establecer las condiciones de sedimentación que prevalecieron durante el Cenomaniense- Turoniense en la Formación La Luna, sección quebrada La Ortiza, a través de análisis bioestratigráficos y geoquímicos.

## **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Efectuar un análisis petrográfico orientado hacia la descripción de diferentes componentes (fracciones aloquímicas y ortoquímicas) y en la determinación de los foraminíferos bénticos y plácticos.
- Realizar fluorescencia de rayos X por dispersión de energía, para obtener elementos mayoritarios y elementos traza.
- Establecer las variaciones de paleoambientes, salinidad y nivel del mar, durante el Cenomaniense al Turoniense, en la Formación La Luna, sección quebrada La Ortiza, mediante análisis mineralógicos y relaciones geoquímicas.
- Identificación de las zonas bioestratigráficas establecidas por PREMOLI SILVA Y SLITER (1999), para este intervalo de tiempo.
- Establecer las relaciones bioestratigráficas y geoquímicas que permiten identificar el segundo Evento Anóxico Oceánico (EAO2).



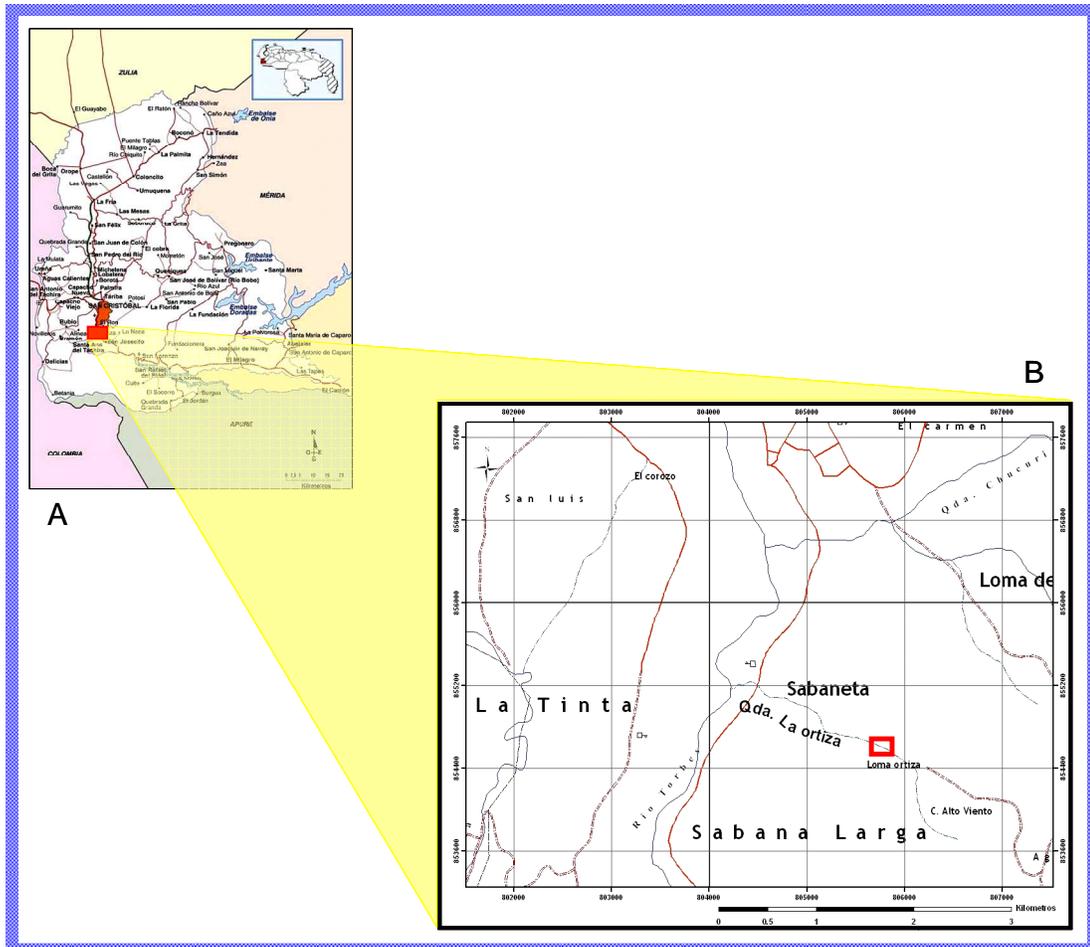
## **1.4 ALCANCE**

El propósito de esta investigación es de gran importancia debido a que se pretende mostrar las condiciones de sedimentación que prevalecieron durante el período Cenomaniense- Turoniense en la sección La Ortiza del estado Táchira, período en el cual se desarrolló el segundo Evento Anóxico Oceánico (EAO2); donde se hará énfasis en las distintas variaciones que ello implica, como lo son las variaciones geoquímicas, del nivel del mar, en la intensidad de las corrientes de surgencia, de salinidad, de paleoambientes y bioestratigráficas.

El principal alcance de este estudio es que el mismo será una guía de parámetros geoquímicos y bioestratigráficos para investigaciones futuras.

## **1.5 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La sección de la zona de estudio se encuentra ubicada en el estado Táchira, en la quebrada La Ortiza (Loma La Ortiza), localizada al sur de San Cristóbal y al sur-este del poblado de Sabaneta de coordenadas U.T.M. E 805.700 y N 854.600 (Figura 1.1).



**Figura 1.1** Mapa de ubicación de la zona de estudio (Tomado y Modificado de: -A: [www.a-venezuela.com/mapas/map/html/viajes/tachirav](http://www.a-venezuela.com/mapas/map/html/viajes/tachirav) - B: la Hoja N° 5739:San Cristóbal )



## 1.6 TRABAJOS PREVIOS

ALTUNA (2006). Se encargó de la caracterización química y radiométrica de los diversos niveles de los pozos MAC-1X, MAC-2X y PIC-25 en el estado Monagas, de las formaciones Macal, Barranquín y Naricual, mediante análisis radiométricos y de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía, a los fines de relacionar la información con los conocimientos sedimentológicos para una mejor comprensión de los fenómenos involucrados en su formación.

KELLER; BERNER; ADATTE & STUEBEN (2004). Establecieron las variaciones de paleoambientes, salinidad y nivel del mar, durante el Cenomaniense medio al Turoniense temprano, en la Formación Greenhorn de Pueblo Colorado, basándose en análisis mineralógicos y en la composición de los isótopos estables en la superficie del foraminífero pláctico *Hedbergella planispira* y del taxón béntico *Cibicidoides* spp.

LEAL & RIVERO (2004). Realizaron la caracterización química de la sección estratigráfica tipo, perteneciente a la sección superior de la Formación El Paraíso, al sur del estado Falcón, mediante fluorescencia de rayos X por dispersión de energía, llegando a definir litofacies, unidades químicas, niveles de energía y calidad de reservorio.

REY; SIMO & LORENTE (2004). Determinaron los factores que influenciaron la sedimentación y controlaron la acumulación de depósitos ricos en materia orgánica a diferentes escalas durante el Santoniense- Campaniense temprano en la Formación La Luna, mediante análisis sedimentológicos, micropaleontológicos y geoquímicos.

DISCEPOLA & RODRÍGUEZ (2002). Llevaron a cabo una evaluación geoquímica de los carbonatos lodosos de la Formación La Luna en las secciones de San Pedro del Río y



Flor de Patria, en los estados Táchira y Trujillo, esta evaluación fue realizada mediante la determinación del carbono orgánico total (COT) y de elementos traza.

DOS SANTOS & SOTO (2002). Efectuaron la caracterización sedimentológica de una sección de la Formación La Luna (Cretácico Superior) en la quebrada Chiriría, estado Táchira, mediante análisis petrográficos, geoquímicos y microscopía electrónica, con ello, llegaron a determinar las distintas etapas diagenéticas imperantes en la zona estudiada, definieron intervalos quimioestratigráficos, asociados a la sedimentación y al tipo de ambiente identificado en la sección.

KERTZBUS (2002). Presentó un análisis bioestratigráfico y paleoecológico de la Formación La Luna en los Andes venezolanos, a partir del estudio detallado e integrado de cuatro secciones de superficie. Este estudio se enfoca en el reconocimiento de las características litoestratigráficas y sedimentológicas, y su relación con el comportamiento faunal y geoquímico, con la finalidad de brindar argumentos que esclarezcan y mejoren el entendimiento de los mecanismos aún debatidos, de las condiciones depositacionales, controles e historia que gobernaron la acumulación de la secuencia de lutitas negras de la Formación La Luna.

NAYA (2002). Se basó en la determinación, desde el punto de vista sedimentológico, de las características diagenéticas de una sección de la Formación La Luna situada en el río San Miguel en el estado Mérida, a partir de la integración de análisis petrográficos, geoquímicos y bioestratigráficos.

ERLICH; MACSOTAY; NEDERBRAGT & LORENTE (2000). Realizaron un estudio diverso que comprendió la paleogeografía, paleoceanografía y paleoclima de la Formación La Luna en el Cretácico Tardío, y el origen de las fosforitas del Miembro Tres Esquinas; llegando a determinar niveles de salinidad, de productividad marina, así como



también a identificar barreras paleobatimétricas, tasas de evaporación y precipitación, y las etapas de la anoxia en las cuencas de Maracaibo y Barinas/Apure.

ERLICH; PALMER-KOLEMAN & LORENTE (2000). A través de análisis geoquímicos, llegaron a la caracterización geoquímica de cambios oceanográficos y climáticos, registrados en el Albiense tardío- Maastrichtiense temprano para el occidente de Venezuela.

GONZÁLEZ & SÁNCHEZ (2001). Realizaron la caracterización química y radiométrica, mediante fluorescencia de rayos X por dispersión de la energía y espectrometría gamma multicanal, respectivamente, de dos secciones estratigráficas de la Formación La Luna en el estado Táchira, llegando a establecer unidades químicas- radiométricas que ayudaron a identificar los cambios litológicos ocurridos durante la sedimentación, asociado a los cambios eustáticos del nivel del mar.

MADRID (2001). Presenta un estudio bioestratigráfico de la Formación La Luna en la sección “Flor de Patria” (estado Trujillo), por métodos petrográficos, a partir de la caracterización morfológica de un grupo de géneros y especies de foraminíferos observados en secciones finas del Cretácico, de las cuales identificó seis géneros distintos que la llevaron a determinar la edad específica de la sección estudiada y los ambientes que predominaron para la época.

ALBERDI & TOCCO (1999). Determinaron las características diagnósticas y controles ambientales que pueden ser usados para la correlación petróleo- roca madre de la Formación La Luna, mediante metales trazas y parámetros tradicionales de la geoquímica orgánica (COT, biomarcadores y Rock- Eval).

MARCANO (1999). Determinó las características diagenéticas de la Formación La Luna y las comparó con la información geoquímica existente. Esto lo realizó a través



de la descripción detallada de dos pozos, determinando microscópicamente, y por medio de análisis petrográficos las características diagenéticas de base a tope. La Formación La Luna según su estudio presenta una diagénesis tardía.

PREMOLI SILVA & SLITER (1999). Interpretaron la mayor secuencia de cambios ecológicos en el reino pelágico durante el Cretácico en Italia y España, basados principalmente en el desarrollo de la evolución y distribución espacial de los formaníferos plácticos, desde su primera diversificación en el Valanginiense temprano hasta la crisis en el límite Cretácico- Paleógeno.

BAPTISTA (1994). Estudió la geología y la geoquímica de las secciones tipo de la Formación La Luna. Para poder realizarlo hizo trabajo geológico de campo, estudios petrográficos, geoquímicos y estadísticos.

STOUFER (1993). Realizó el estudio regional del carbono orgánico total y del fosfato de la Formación La Luna, en la cuenca de Maracaibo. Para esto realizó un estudio geológico regional y local, análisis de fluorescencia de rayos X y secciones petrográficas. Determinó que tanto el fosfato como el carbono orgánico se concentran en el tope de la formación y elaboró mapas con la concentración de cada uno.

PERALTA (1991). En su trabajo especial de grado hizo un estudio estratigráfico del límite Cretácico-Terciario. Para lograrlo realizó el análisis bioestratigráfico de la microfauna y flora, el estudio paleoambiental y paleogeográfico de las unidades del Cretácico Tardío – Paleoceno Temprano, y la revisión de las unidades litoestratigráficas sedimentadas durante este intervalo. Logró establecer que la Formación Mito Juan cuya edad tradicionalmente se consideraba Maastrichtiense tardío, llega al Paleoceno Temprano.





## **CAPÍTULO II**

### **MARCO METODOLÓGICO**

La metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos planteados, se desarrolló en tres etapas principales, las cuales se mencionan a continuación:

#### **2.1 ETAPA I. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

En esta etapa se recopiló la información bibliográfica referente al Cretácico en Venezuela, específicamente durante el Cenomaniense- Turoniense y con mayor énfasis en la zona occidental y en las secciones de la Formación La Luna en los estados Mérida, Trujillo, Lara y Zulia; igualmente se recopiló información sobre la geoquímica y sus aplicaciones. Se analizaron estudios convencionales, especiales, publicados y no publicados, con la finalidad de obtener el mayor conocimiento disponible de la zona.

#### **2.2 ETAPA II. ANÁLISIS DE LABORATORIO**

Esta etapa estuvo definida por la preparación de 138 muestras con técnicas convencionales para el análisis petrográfico y químico. Estas muestras fueron recolectadas en campo equidistantemente a razón de 20 cm, por Thierry Adatte y Lenin Gonzalez en el año 2005. Esta etapa, a su vez, comprende tres fases principales:



## 2.2.1 CONSTRUCCIÓN DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MANO

Se realizó la descripción de las muestras de mano y se procedió a la construcción de la columna estratigráfica mediante el programa de digitalización Corel Draw (ANEXO 1).

## 2.2.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

Consistió en la obtención de los elementos mayoritarios y traza, que fueron claves para la determinación de distintos parámetros.

Para la determinación de elementos químicos mayoritarios y traza en muestra de rocas, se utilizó la espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX). Para ambos análisis se prepararon las muestras siguiendo los pasos que se dan a continuación:

- *Preparación de las muestras:*

El proceso utilizado para la pulverización de las muestras fue tomado de LEAL & RIVERO (2004):

1. *Disgregación previa:* Antes de pulverizar algunas muestras fue necesario disgregarlas; la muestra fue cubierta con hojas de papel limpias para evitar contaminación alguna y colocada sobre una plancha de acero 15x15 cm, sobre la cual se golpeó con una piqueta hasta ser disgregada.

2. *Pulverizado*: una vez disgregadas las muestras se procedió a pulverizarlas; de cada muestra se tomó una porción de 150 gr., aproximadamente, y se colocó en un equipo de molienda *Shatterbox* (Figura 2.1), el cual está compuesto por una cámara de carburo de tungsteno que al vibrar permite pulverizar la muestra. El tiempo de pulverización por cada muestra fue, aproximadamente, de 2 a 5 minutos, dependiendo del tipo de litología de la muestra.



**Figura 2.1** Equipo de molienda *Shatterbox*

Para cada muestra pulverizada es necesario realizar la limpieza de la cámara para reducir el riesgo de contaminación de las muestras, dicha limpieza se realizó de la siguiente manera:

- a. Se limpia la cámara con una brocha para remover los restos de muestra presente.
- b. Se limpia la cámara con papel absorbente impregnado en alcohol isopropílico para remover la muestra.
- c. Se coloca una pequeña cantidad de cuarzo (10 gr aprox.) y se pulveriza durante un minuto, para remover con mayor eficiencia los restos de muestra en las paredes de la cámara.



- d. Se extrae el cuarzo pulverizado con el uso de una brocha.
- e. Se limpia la cámara con papel absorbente impregnado en alcohol isopropílico para terminar de remover los restos de cuarzo.
- f. Se coloca una pequeña porción (10 gr aprox.) de una nueva muestra a pulverizar, previamente triturada, para la pre-contaminación de la cámara con la muestra a moler.
- g. Se extrae la porción de muestra y se repite únicamente el paso b.
- h. Se introduce una porción de 150 gr, aproximadamente, de la muestra a pulverizar, previamente triturada, y se repiten los pasos anteriores.

### 3. *Preparación de las Pastillas*

El método de preparación de las pastillas fue realizado según la metodología aplicada en los laboratorios del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN, *com. pers.* 2008).

- a. De la muestra pulverizada anteriormente se tomó una porción de 2 gr (Figura 2.2).



**Figura 2.2** Muestra Pulverizada

- b. La muestra se coloca en el mortero y se le agrega Acetona hasta que la cubra por completo, y se mezcla hasta que quede completamente seca (Figura 2.3).



**Figura 2.3** Secado de la muestra

- c. A continuación se le agregan 3 gotas de Aglutinante y se mezcla hasta que quede homogénea.
- d. Se coloca en el embolo 6 gr. de Ácido Bórico, y sobre esto se coloca la muestra.
- e. Por último se coloca el émbolo en la prensa y se le aplica presión hasta que llegue a las 25 toneladas (Figura 2.4a y 2.4b).



**Figura 2.4a** Prensa

**Figura 2.4b** Pastilla

### 2.2.2.1 Fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (FRX-DE) con fuente de tubo de Rh

- *Características del equipo:* para el análisis de estos elementos mayoritarios se utilizó un espectrómetro de rayos X por dispersión de energía, marca Phillips, modelo Minipal PW 4025/00 (Figura 2.5), el cual es un espectrómetro compacto diseñado para la detección y cuantificación de elementos químicos, desde el Na hasta el U, en una muestra con un amplio rango de formas físicas: sólida, líquida o polvo (CAMPOSANO & MARTÍNEZ, 2000). En el trabajo de estos mismos autores se encuentran las especificaciones de las partes del equipo, y el establecimiento de sus condiciones óptimas para la medición.





**Figura 2.5** Espectrómetro de rayos X por energía dispersiva marca Phillips Minipal PW 4025/00. Tomado de CEDILLO & OLAYA (2003).

Este equipo es controlado por un software diseñado por Phillips, bajo un ambiente Windows<sup>®</sup> (Windows 95<sup>®</sup> o NT<sup>®</sup>), llamado Minipal Software V 1.0 A (1999) (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000), por medio del cual se pueden realizar las aplicaciones necesarias con las condiciones adecuadas para cada análisis (GONZÁLEZ & SÁNCHEZ 2001). Para este trabajo, las 138 muestras fueron analizadas a razón de 300 cuentas por segundo (cps), obteniendo los valores de: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, V, MnO, MgO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CAPÍTULO V-Tabla 5.1).

- *Análisis de las muestras:* las muestras fueron analizadas de acuerdo a los siguientes pasos (GONZÁLEZ & SÁNCHEZ, 2001):
  1. Encender el equipo y correr la aplicación para la calibración del mismo.
  2. Abrir la ventana de medición para la aplicación.
  3. Montar las pastillas en el contenedor del equipo (Figura 2.6).
  4. Introducir la identificación de la muestra en la computadora, de acuerdo a la posición que ocupa dentro del contenedor.
  5. Inicio de la medición.
  6. Obtención de los resultados, los cuales son guardados en un formato del programa Excel<sup>®</sup>.



**Figura 2.6** Colocación de las muestras en el contenedor móvil del Minipal.  
Tomado y Modificado de BARITTO (2003)

#### 2.2.2.2 Fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (FRX-DE) con fuente radiactiva de $^{109}\text{Cd}$

- *Características del equipo:* el análisis de los elementos traza se realizó por medio del espectrómetro Niton XL-722S, serie 700 (Figura 2.7). Éste, es un equipo portátil capaz de medir las concentraciones de 24 elementos en partes por millón (ppm), en su mayoría traza, de pesos atómicos mayores al del Fe, aplicando la técnica de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía. Consta de dos fuentes radiactivas,  $^{109}\text{Cd}$  y  $^{241}\text{Am}$ , las cuales permiten determinar las concentraciones de los elementos Fe, Co, Cr, Zr, Zn, Ni, Rb, Sr, Cu, Pb, As, Se, Hg, Mo, Mn y Ba, Ag, La, Te, Cd, Sn, Sb, Cs, Pd (CAMPOSANO, 2002).



**Figura 2.7** Espectrómetro Niton XL-722S, serie 700. Tomado de CEDILLO & OLAYA (2003).

Según CAMPOSANO (2002), el equipo consta de un sistema de autocalibración particular para cada uno de los elementos que éste puede detectar, por lo que no es necesario elaborar curvas de calibración basadas en patrones estándar para poder adquirir los datos.

El funcionamiento del equipo es manual, mediante la apertura de la ventana de radiación directamente sobre la muestra en una plataforma diseñada específicamente para este equipo (CAMPOSANO 2002). En el trabajo de este mismo autor se encuentran las especificaciones del equipo y las condiciones para las mediciones.

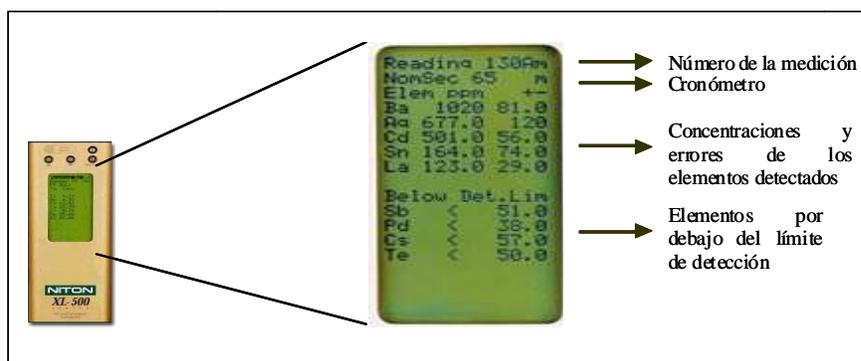
Para este trabajo se seleccionaron 34 muestras a lo largo de la sección para ser analizadas por este equipo, a razón de 200 cuentas, obteniendo los elementos: Co, Mo, Ni, Pb, Rb, Sr, Zn, Zr (CAPÍTULO V-Tabla 5.2)

- *Análisis de las muestras:* para esto se sigue la siguiente secuencia de pasos según NOGUERA & YÉPEZ (2002):
  1. Encender el equipo y esperar que el mismo se autocalibre.
  2. Introducir la pastilla con la muestra apuntando hacia arriba o hacia el detector del equipo. La plataforma debe estar situada sobre una superficie plana, sólida y fija.
  3. Remover el seguro de la ventana y montar el equipo sobre la muestra, de manera que la ventana de radiación coincida con la posición de la muestra (Figura 2.8).



**Figura 2.8** Montaje del equipo sobre la muestra en su plataforma de análisis. Tomado y Modificado de CEDILLO Y OLAYA (2003).

4. El equipo comienza con el análisis e inmediatamente en la pantalla aparece el cronómetro (segundos fuente) y el listado de los elementos detectados acompañados de sus concentraciones, errores y valores de los límites de detección (Figura 2.9). Estos valores y algunos de los elementos detectados pueden variar a medida que avanza el tiempo de medición.



**Figura 2.9** Características de la pantalla del equipo Niton XL-722S serie 700 (Tomado de NOGUERA & YÉPEZ 2002).

5. Una vez cumplidas los 200 cuentas según el cronómetro de la pantalla, se retira el equipo de la plataforma y se cierra la ventana de radiación. Seguidamente se anota el número de la medición y los valores de los elementos.
6. Por último, los resultados se pasan al programa Excel<sup>®</sup> (hoja de cálculo) o cualquier programa estadístico.



### **2.2.3 ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y BIOESTRATIGRÁFICO**

Consistió en la elaboración de 22 secciones finas a lo largo de la sección estudiada, y la caracterización correspondiente que se hizo a través del microscopio de luz polarizada.

Mediante el análisis petrográfico se pudo observar la cantidad relativa de componentes principales (extraclastos, ortoquímicos y aloquímicos), la composición mineralógica de la muestra, los efectos diagenéticos, tipos de cementos y otros.

El análisis bioestratigráfico se realizó basándose en el reconocimiento de los morfotipos específicos de los foraminíferos pláncnicos y béticos en sección delgada. El marco cronoestratigráfico para las rocas estudiadas se estableció por medio de las zonaciones hechas por PREMOLI SILVA & SLITER (1999). La determinación del género y especie se realizó por medio del conocimiento de la morfología de cada organismo en dos dimensiones, con la ayuda de catálogos especializados y se estableció la presencia, preservación, tamaño, dominancia, diversidad, distribución y relaciones de abundancia.

### **2.3 ETAPA III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Ésta constituyó la última etapa de este estudio, en ella se integraron todos los resultados obtenidos en las etapas anteriores para su interpretación y análisis.

Los datos obtenidos de los análisis descritos anteriormente, fueron procesados estadísticamente, a través de la elaboración de histogramas de frecuencia y diagramas caja, por medio de la utilización de los programas estadísticos NCSS<sup>®</sup> 2000 y Microsoft Excel<sup>®</sup> Xp.



Además de esto se realizaron perfiles de distribución que permiten visualizar la variación vertical de los elementos mayoritarios y traza. También, ayudan a interpretar la posibilidad de establecer un número de unidades químicas y las tendencias de dichas variaciones, por medio de la construcción de curvas “crudas” y suavizadas, para ésto se utilizó el programa Excel<sup>®</sup> Xp.

Con los datos de los análisis también se establecieron relaciones elementales, como V/Ni, V/V+Ni, Ni/Co, Mn/Al, utilizando la información encontrada en la bibliografía consultada.

Se integraron los datos bioestratigráficos y quimioestratigráficos para determinar la relación entre ambos.



## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 GEOQUÍMICA

La geoquímica se ocupa de la distribución y migración de los elementos químicos en el interior de la corteza, en el espacio y en el tiempo. Su propósito fundamental consiste en determinar cuantitativamente la composición de la Tierra y de sus partes constitutivas, y, por otra parte, descubrir las leyes que rigen la distribución de los elementos individualmente (MASON, 1960).

La geoquímica de los diferentes sedimentos refleja las variaciones en el proceso de formación, así como la distribución de las masas de agua y tierra en el planeta, corrientes de aire y agua, ríos, cambios climáticos, actividad biológica, roca fuente, vulcanismo, etc. Para muchos de estos procesos geoquímicos el factor tiempo es muy importante (FAIRBRIDGE, 1972).

El estudio de la composición química de los sedimentos marinos ha sido un amplio tema, el cual CHESTER (1990) resume de la siguiente manera: los elementos mayoritarios de los sedimentos marinos son ampliamente controlados por proporciones relativas de minerales formadores de sedimentos. Los principales minerales son las arcillas, los carbonatos biogénicos y los siliciclásticos. Según VERA (1994), en una roca sedimentaria se llaman componentes mayoritarios a los que constituyen la gran mayoría de la misma (ejemplo:  $\text{SiO}_2$  en rocas silíceas,  $\text{CaCO}_3$  en rocas carbonáticas), mientras que se denominan componentes minoritarios a aquellos que están en pequeñas proporciones. Dentro de los minoritarios hay unos componentes cuya abundancia se mide en porcentajes y cuyo contenido varía de 0,1% a 5% en peso (ejemplo: materia orgánica, residuos insolubles en carbonatos).



Otros componentes de las rocas son los elementos traza. Entre los elementos traza existe una gran variedad, aunque en la práctica son pocos los utilizados en la quimioestratigrafía, entre los que destacan: Sr, Mg, Mn, Fe, K y Na. Con carácter más eventual se han utilizado: Ba, Ni, Cr, Ti, P, Cu, V y algunas Tierras Raras (VERA, 1994).

Desde un planteamiento puramente teórico el conocimiento exacto de la abundancia de estos elementos en las diferentes rocas, y en especial, su evolución a lo largo de una sección estratigráfica, suministra un posible criterio de división y de correlación entre diferentes secciones estratigráficas de una misma cuenca.

En la práctica este interés disminuye ya que se limita al estudio de materiales carbonáticos especialmente pelágicos, en los que las posibles modificaciones diagenéticas han sido menores, y, por tanto, su composición geoquímica es muy semejante a la original. En algunas secciones estratigráficas de materiales de plataformas marinas, ricos en materia orgánica y en algunas secciones de materiales salinos, los elementos traza han suministrado resultados prometedores (VERA, 1994).

El mayor interés se centra en el estudio de algunos elementos traza seleccionados, que permitan delimitar conjuntos de estratos dentro de una sección estratigráfica caracterizados por su composición, que puedan ser seleccionados con secciones próximas (VERA, 1994).

CHESTER (1990) menciona que los elementos traza presentan variaciones dependiendo del fraccionamiento oceánico entre los sedimentos próximo costeros y marino profundos, lo cual puede introducir un enriquecimiento o exceso de elementos.



La composición química de las rocas sedimentarias es sumamente variable, puesto que la sedimentación conduce generalmente a una diversificación; son varios los controles que operan cambiando la composición del material, desde la roca original hasta el sedimento final. El problema fundamental en la geoquímica de la sedimentación es la descomposición química de algunos minerales y la formación de otros (CORRENS, 1949). Según MASON (1960), la suerte posterior de los diferentes elementos depende de la estabilidad relativa de sus iones en el agua. La composición principal de algunas de las rocas sedimentarias en sus componentes típicos se muestra en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Tabla de la composición típica de algunas rocas sedimentarias realizada por ALBERDI & TOCCO (1999). Tomado y modificado de DISCEPOLA Y RODRÍGUEZ,2002)

<b>Óxidos Constituyentes</b>	<b>Areniscas (%)</b>	<b>Lutitas (%)</b>	<b>Calizas (%)</b>
<b>Silicio (Si)</b>	77,33	58,1	5,19
<b>Titanio (Ti)</b>	0,56	0,62	0,06
<b>Aluminio (Al)</b>	7,67	15,4	0,81
<b>Hierro (Fe<sup>+3</sup>)</b>	1,07	4,02	0,54
<b>Hierro (Fe<sup>+2</sup>)</b>	0,3	2,45	No determinado
<b>Magnesio (Mg)</b>	0,95	2,44	7,89
<b>Calcio (Ca)</b>	4,09	3,11	42,57
<b>Sodio (Na)</b>	0,68	1,3	0,05
<b>Potasio (K)</b>	1,27	3,24	0,33
<b>Fósforo (P)</b>	0,06	0,17	0,04
<b>Carbono (C)</b>	5,03	2,63	41,64
<b>Azufre (S)</b>	0,07	0,64	0,05
<b>Bario (Ba)</b>	0,05	0,05	No determinado
<b>TOTALES</b>	<b>99,13 %</b>	<b>94,62 %</b>	<b>99,07%</b>

### 3.2 APLICACIONES DE LA GEOQUÍMICA

#### 3.2.1 PERFILES DE DISTRIBUCIÓN

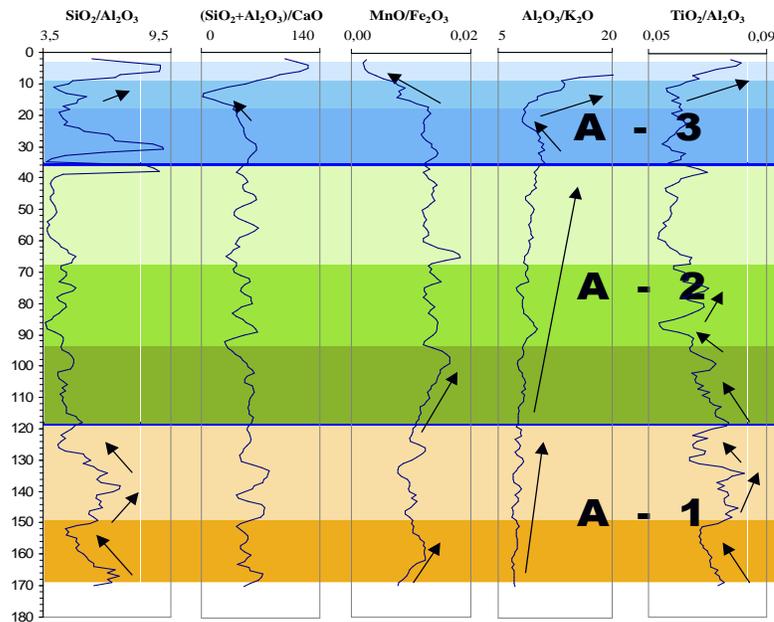


Los perfiles de distribución son representaciones gráficas de los datos que ayudan a visualizar los valores atípicos. Normalmente, las variables se representan en el eje horizontal y los valores de escala en el eje vertical (Figura 3.1) (NOGUERA Y YÉPEZ, 2002).

De acuerdo a ESTÉVEZ (2000) los eventos geoquímicos que definen el patrón de los perfiles, pueden reflejarse como máximos, mínimos y deflexiones de las curvas, los cuales definen a su vez, a los marcadores quimioestratigráficos de primero y segundo orden. Según JORGENSEN (1986) estos marcadores quimioestratigráficos de primer orden representan eventos geoquímicos caracterizados por más de un elemento o por una deflexión excepcional de las curvas. Por su parte los marcadores quimioestratigráficos de segundo orden se definen a partir de un solo elemento o por fluctuaciones elementales menos significativas.

Una vez definidos los marcadores quimioestratigráficos se establecen las unidades químicas, para definir las se utilizan los siguientes criterios (RODRÍGUEZ, RUIZ & TUNDIDOR, 2000):

- Una unidad estará comprendida entre dos marcadores que tengan igual comportamiento, es decir, que sean valores máximos o mínimos, o bien entre un marcador y el tope o la base de la sección.
- Dentro de la unidad debe existir un marcador cuyo comportamiento sea contrario al de los marcadores límite, es decir si los marcadores límite son máximos el interno debe ser mínimo y viceversa.
- Aquella unidad cuyo marcador interno represente un mínimo se definirá, a priori, como unidad con tendencia negativa y viceversa.

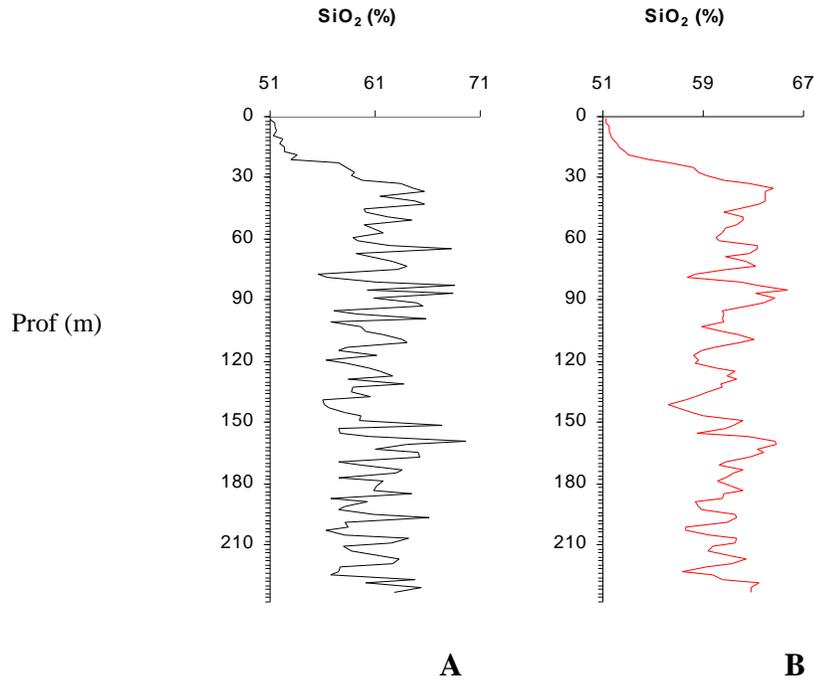


**Figura 3.1** Perfiles químicos de cinco relaciones elementales de mayoritarios del pozo A del Campo La Concepción, estado Zulia, donde es posible apreciar tres unidades químicas. Realizado por CHACÍN (2003). Tomado y modificado de BARITTO (2003).

### 3.2.2 TÉCNICA DE ESTIMACIÓN DE TENDENCIAS (PROMEDIO MÓVIL)

Usando promedios móviles de ordenes apropiados, es posible eliminar esquemas cíclicos, estacionales e irregulares, dejando así tan sólo el movimiento de tendencia, es decir, para reducir el ruido o las fluctuaciones en las series (SPIEGEL 1988).

En la figura 3.2.b se puede apreciar una curva de tendencias correspondientes a la variación presentada en la figura 3.2.a, obtenida con la aplicación de la técnica de los promedios móviles con un período de 3 observaciones.



**Figura 3.2** **A** Perfil de distribución original. **B** Perfil de distribución con promedio móvil 3. En donde es posible observar la variación vertical del contenido de  $\text{SiO}_2$  en el núcleo P29. Tomado y modificado de CEDILLO & OLAYA (2003)

### 3.2.3 RELACIONES ELEMENTALES

A continuación se presenta un resumen de los trabajos realizados por distintos autores que incluye el estudio de elementos mayoritarios, traza y de las relaciones químicas, para la interpretación de los diferentes parámetros de sedimentación.

Autor (año)	Relación química	Interpretación
	Mo	La concentración de Mo aumenta con el incremento de las condiciones anóxicas en la superficie del fondo del mar (Emerson y Husted, 1991). Muchos trabajos reportan Mo asociado con ácido húmico en la materia



Alberdi- Genolet, Tocco (1999)		orgánica (Nissebaum y Swaine, 1976; Calvert y Price, 1983). Otros autores han reportado asociaciones con azufre (Glikson et al, 1985) y ellos consideran una selectiva eliminación en soluciones como thiomolybdate durante la precipitación del FeS (Korolev, 1958; Bertine, 1972)
	V/Ni	La relación V/Ni y la relativa abundancia de porfirinas de vanadio y níquel, han sido aplicados como indicadores anóxicos en sedimentos antiguos, y han sido usados para correlación petróleo-petróleo y petróleo-roca madre (Lewan y Maynard, 1982; Lewan, 1984; Filby, 1994). La relación V/Ni muestra un aumento con el incremento de las condiciones de reducción.
Rey, Simo, Lorente (2004)	V/V+Ni	Los valores de Vanadio (V/V+Ni) indican una condición redox (Dean y Arthur, 1998).
	Baja concentración de Mn	Los datos de la baja concentración de Mn, y de los foraminifera béticos, sugieren bajo oxígeno (De Romero y Galea-Alvarez, 1995; Erlich et al., 1999, 2000).
Jones, Manning (1993)	Relación de los metales traza Ni/Co	El Vanadio puede estar vinculado con la materia orgánica, y se concentra en sedimentos depositados bajo condiciones reductoras (Shaw et al., 1990; Emerson y Husted, 1991). Ni/Co ha sido también usado como índice del redox (por ejemplo., Dypvik, 1984; Dill, 1986). Altos valores reflejan condiciones de oxidación.



### 3.2.3 Continuación

Autor (año)	Relación química	Interpretación
Jones, Manning (1993)	Relación de los metales traza $V/(V+Ni)$	La relación $V/(V+Ni)$ ha sido usada para estimar la presencia o ausencia de $O_2$ y $H_2S$ en ambientes depositacionales antiguos. El $V/(V+Ni)$ tiene un relativo potencial redox de un ambiente depositacional, basandose en los trabajos de Lewan y Maynard (1982) y Lewan (1984) quienes mostraron que el potencial redox es el primer control en el amplio rango de $V/(V+Ni)$ observado en rocas madres de petróleo. Para estas muestras valores de $V/(V+Ni)$ entre 0,7 y 0,8 representan el límite entre disoxico/anoxico.
Hatch, Leventhal (1991)	$V/(V+Ni)$ vs. materia orgánica	Las muestras con bajo contenido de carbono orgánico (menor a 2,5%) se consiguen en las muestras con $V/(V+Ni)$ menor a 0,75; altos contenidos de carbono orgánico (mayor a 7,5%) se consiguieron en las muestras donde $V/(V+Ni)$ era mayor a 0,75. Menos materia orgánica rica en hidrogeno es encontrada en las muestras donde $V/(V+Ni)$ es menor a 0,6, y materia orgánica rica en hidrógeno en las muestras donde $V/(V+Ni)$ es mayor a 0,7. Esta distribución indica que cantidades significativas de materia orgánica son transportadas, o que la productividad de la materia orgánica y/o preservación está ligada al mecanismo que produce los potenciales relativos redox. más bajos.
	Zn, Mo y $V/(V+Ni)$	Zn y Mo fueron ploteados con $V/(V+Ni)$ ; hay un contenido relativamente bajo de metales cuando $V/(V+Ni)$ es menor a 0,8, y un mayor contenido de metales cuando $V/(V+Ni)$ es mayor a 0,8.
	S vs. $V/(V+Ni)$	Si el S tiene un valor elevado (mayor a 2,7%) en muestras donde $V/(V+Ni)$ es mayor a 0,8; indica que la columna de agua tenía cantidades significativas de $H_2S$ . Los valores de la relación $V/(V+Ni)$ entre 0,54 y 0,69 indican intervalos que fueron depositados con un potencial redox relativamente alto.

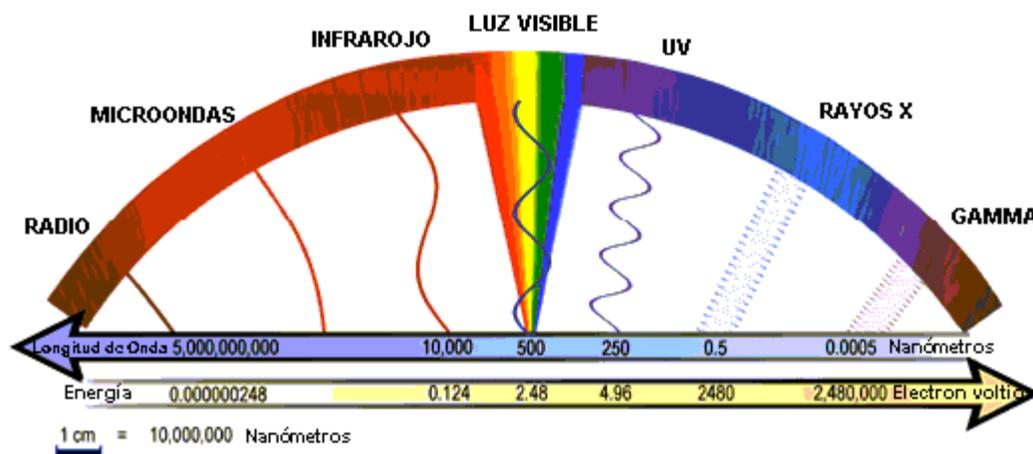


### 3.2.3 Continuación

Autor (año)	Relación química	Interpretación
Hatch, Leventhal (1991)	Estratificación de la columna de agua	Alto contenido de Mo, V, Zn y alto V/(V+Ni) (mayor a 0,84), indica la presencia significativa de H <sub>2</sub> S en una columna de agua fuertemente estratificada. Bajo contenido de metales y bajo V/(V+Ni) (0,54-0,72) indica mucho menos H <sub>2</sub> S disuelto y una columna de agua poco estratificada; bajo contenido de metales y bajo V/(V+Ni) (0,46-0,60) indica una columna débilmente estratificada y principalmente una columna de agua disóxica. El predominio de la materia orgánica terrestre en intervalos depositados desde la columna de agua más estratificada, sugiere la presencia de agua dulce cerca de la superficie.
Pedersen, Calvert (1990)	V, Mo	El V y Mo comparten un rasgo común de ser autigenicamente enriquecidos en sedimentos bajo condiciones reductoras comparadas con sus concentraciones en sedimentos oxigenados (Morford y Emerson, 1999; Calvert y Pedersen, 1993). El subsecuente enriquecimiento de los autigénicos V y Mo son evidencias de condiciones reductoras cada vez mayores en el fondo del agua.
	Mn	La distribución de Mn indica que el fondo fue oxigenado cuando se formó (Calvert, 1990)
Morford, Russell, Emerson (1999)	V	El V es continuamente removido de la zona oxidada y reconcentrado en los sedimentos cerca del límite oxigenado/postoxigenado (Wallace et al., 1993, 1995, 1998; Rosenthal et al., 1995). La fracción de Mo, V y Cd es removida, y también se observa su migración hacia arriba y hacia abajo fuera de los sedimentos en oxidación y para reprecipitar cerca del límite redox (Thomson et al., 1995, 1998; Rosenthal et al., 1995)

### 3.3 RAYOS X. NOCIONES BÁSICAS

Los rayos X forman parte del espectro electromagnético (Figura 3.3), con longitudes de onda que varían entre  $100\text{\AA}$  y  $0,02\text{\AA}$ , la luz visible tiene longitudes de onda entre  $7.200$  y  $4.000\text{\AA}$ , de ahí que el poder de penetración de los rayos X les permita interactuar no sólo con la materia sino también con los átomos de la misma. Al ser ondas electromagnéticas se propagan en línea recta con una velocidad de  $300.000$  km/s en el vacío, se refractan según la Ley de Snell, se reflejan, se difractan, son absorbidas por la materia y de acuerdo a la Ley de Planck la energía y la longitud de onda se relacionan según  $e=hc/\lambda$ , donde  $e$  es la energía necesaria para producirla,  $h$  la constante de Planck,  $c$  velocidad de propagación y  $\lambda$  la longitud de onda; por estas propiedades los rayos X son ampliamente usados en química analítica (RODRÍGUEZ, RUIZ Y TUNDIDOR, 2000).



**Figura 3.3** Espectro Electromagnético. Tomado y Modificado de BARITTO (2003).

De acuerdo a CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000) existen diversas maneras de generar rayos X, las cuales son:

- *Por bombardeo de un blanco metálico, por un haz de electrones de alta energía.* Es la fuente más común de generación de rayos X, a través de un



tubo conocido como de Coolidge, el cual contiene un emisor de electrones o cátodo y un blanco metálico o ánodo. Los rayos X se generan cuando los electrones bombardeados tienen suficiente energía para liberar electrones de las capas más internas de los átomos del ánodo produciéndose transiciones electrónicas que emiten radiación X.

- *Por exposición de una sustancia a un haz primario de rayos X, para formar un haz secundario de rayos fluorescentes.* En este proceso los rayos X generados por la fuente son dirigidos hacia la muestra a ser analizada, absorbiendo ésta parte de los rayos, causando una serie de transiciones electrónicas donde se forman rayos X característicos de cada uno de los elementos analizados en la muestra.
- *Por empleo de una fuente radioactiva de rayos  $\gamma$ , la cual al interactuar con los elementos de la muestra permite la emisión de rayos X.*

### **3.4 ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X**

Según ROLLINSON (1993) la espectrometría por fluorescencia de rayos X (FRX) es la técnica analítica más utilizada en la determinación de elementos químicos mayoritarios y traza en muestras de rocas. Es una técnica versátil en la cual se pueden analizar más de 80 elementos sobre un amplio rango de sensibilidades, detectando concentraciones de 100% hasta unas pocas partes por millón.

La fluorescencia de rayos X se produce cuando se elimina un electrón de las capas internas de un átomo, lo cual sucede cuando un haz primario de rayos X, procedente de un tubo de rayos X o de una fuente radioactiva, es absorbido parcialmente por la materia y lleva la suficiente energía para expulsar a los electrones internos de los átomos. La espectrometría por fluorescencia de rayos X por dispersión de energía, se



basa en irradiar la muestra con rayos X o  $\gamma$ , lo cual produce la excitación de los elementos presentes en ella, de manera que estos emiten radiación X característica con una intensidad directamente proporcional a la concentración del elemento en el material (SKOOG *et al.* 1992)

Para cuantificar las concentraciones es necesario tener una calibración estándar del equipo que sirva como patrón de referencia, para lo cual previamente son efectuadas correcciones que permiten eliminar los errores instrumentales y los efectos de la matriz (ROLLINSON, 1993).

Los espectros muestran los resultados en forma de información cualitativa, donde los elementos en una muestra han sido detectados mediante el reconocimiento de los rangos de energía emitidos y/o el ángulo dependiendo de la técnica que se use. La conversión de las intensidades mostradas por cada elemento, a alguna medida de concentración, es la base de los análisis cuantitativos para los que son necesarios la calibración o comparación de las intensidades de las muestras a ser analizadas, con intensidades de muestras patrones o estándar, siendo necesario que ambos tipos muestren composición química y física similar (CAMPOSANO & MARTÍNEZ, 2000).

### **3.4.1 EFECTO DE LA MATRIZ**

Según SKOOG *et al.* (1992) los rayos X producidos en un proceso de fluorescencia se generan no solamente en los átomos de la superficie sino también en aquellos que se encuentran debajo de la superficie. Así, una parte del haz incidente y del haz fluorescente resultante atraviesan un espesor significativo de la muestra, en el que puede tener lugar la absorción y dispersión. El grado de atenuación de ambos haces depende del coeficiente de absorción másico del medio, el cual a su vez se determina a partir de coeficientes de todos los elementos de la muestra. Por tanto, aunque la



intensidad neta de una línea que llega al detector en una medida de fluorescencia de rayos X depende de la concentración del elemento que produce la línea, también está afectada por la concentración y por los coeficientes de absorción másicos de los elementos de la matriz provocando que los resultados calculados sean más altos o más bajos.

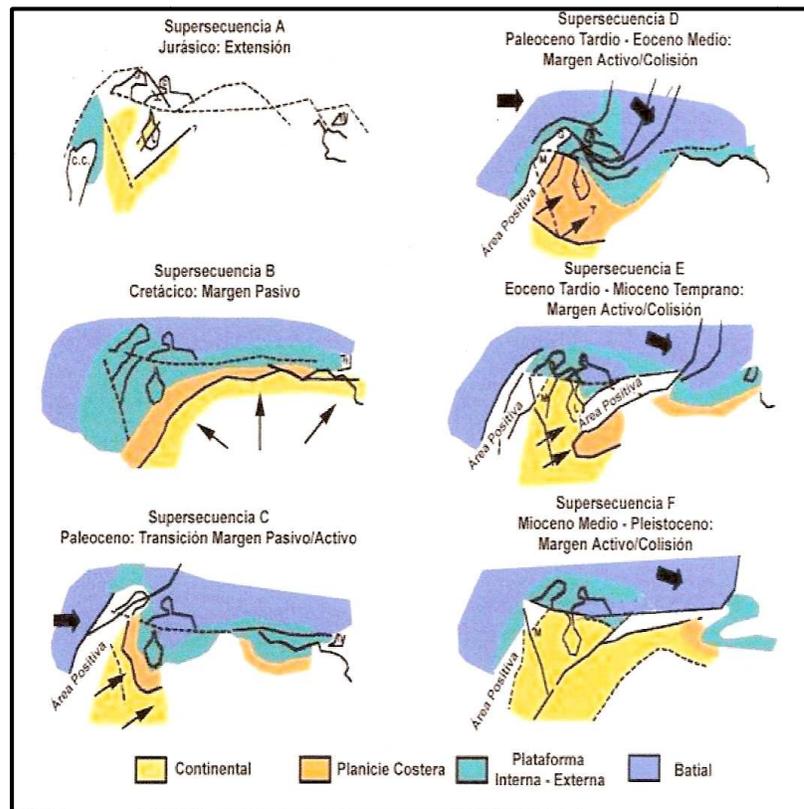
Un segundo efecto de la matriz, llamado *efecto de intensificación*, puede dar lugar, también, a resultados mayores de lo esperado. Este comportamiento se observa cuando la muestra contiene un elemento cuyo espectro de emisión característico se excita mediante el haz incidente y este espectro a su vez produce una excitación secundaria de la línea analítica (SKOOG *et al.* 1992).

## CAPÍTULO IV MARCO GEOLÓGICO

### 4.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL OCCIDENTE DE VENEZUELA



La historia geológica del occidente de Venezuela puede ser expresada según PARNAUD *et al.*, (1995), en seis supersecuencias depositacionales, basadas en las características tectono-estratigráficas de la región y limitadas por discordancias, que evidencian la evolución dinámica de las cuencas en el Paleozoico y Mesozoico-Cenozoico (Figura 4.1). Iniciándose con los depósitos de “*rifting*” de edad Jurásico (supersecuencia A), seguido de secuencias de margen pasivo en el periodo Cretácico (supersecuencia B), fase de transición del Cretácico Tardío – Paleoceno Temprano (supersecuencia C), depósitos clásticos en la cuenca antepaís “*foreland*” (supersecuencia D) durante la fase de colisión entre el arco volcánico del Pacífico y la placa de América del Sur, finalizando con las supersecuencias E y F, asociadas a las modificaciones sufridas en la cuenca antepaís “*foreland*”, debido a la colisión del arco de Panamá.



**Figura 4.1** Supersecuencias del occidente de Venezuela definidas por PARNAUD *et al.*, (1995). (Tomado y modificado de SOTO, 2007)

Internamente, estas seis supersecuencias comprenden una serie de secuencias menores, que reflejan procesos eustáticos y modificaciones tectónico-estructurales. De estas supersecuencias sólo dos se desarrollaron durante el Cretácico, la B y la C, en las que nos enfocaremos en este estudio. La supersecuencia B corresponde al margen pasivo subsiguiente, durante el Cretácico Temprano al Tardío, la cual contiene la roca madre La Luna y está constituida por seis secuencias (K0-K5); y la supersecuencia C consta de tres secuencias (K6-K8), las cuales marcan la transición a un régimen compresivo en el Cretácico Tardío y Paleoceno Temprano, con las formaciones Colón y Burgüita que constituyen los sellos principales de dicha supersecuencia (PARNAUD *et al.*, 1995).

#### 4.1.1 JURÁSICO



Durante el Jurásico todo el norte de Sudamérica se ve afectado por un período de “*rifting*” continental. Este período de expansión produce un estilo estructural caracterizado por estructuras distensivas, como graben y fallas normales, en donde se va a depositar litología de origen netamente continental (PARNAUD *et al.*, 1995), y se inicia la depositación de los sedimentos molásicos, representados por capas rojas de ambiente continental, que alternan con episodios lacustrinos y salobres; característica principal de la Formación La Quinta. La fuente principal de aporte de material clástico fueron rocas precámbricas y paleozoicas localizadas en zonas positivas al sur de Venezuela (GARCIA JARPA, *et al.*; 1980).

Al producirse el período de extensión continental se produjeron diversos “*riffts*” o surcos a lo largo de Venezuela y Colombia; entre los cuales se pueden destacar los de Machiques, Uribante y Espino en Venezuela, y en Colombia los surcos de Cocuy y Arcabuco; estando todos estos dispuestos de forma subparalela entre si. Este período dio inicio a un margen pasivo a todo lo largo de la parte norte de Sudamérica (PARNAUD *et al.*, 1995).

#### 4.1.2 CRETÁCICO

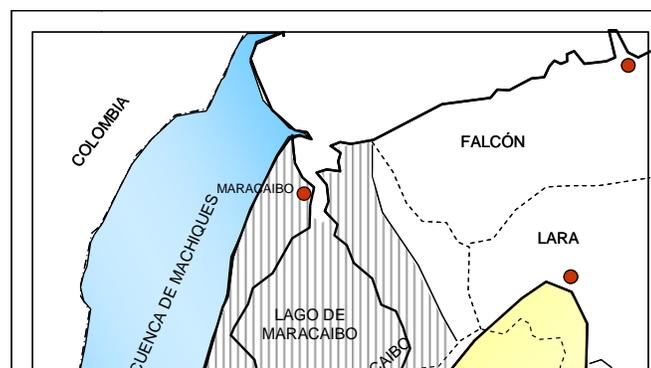
En el norte de América del Sur, durante este periodo, se producen eventos transgresivos de alcance mundial que afectaron la sedimentación en el margen venezolano. Estos eventos transgresivos sumados al contexto tectónico de margen pasivo (imperante durante este periodo) marcaron importantes cambios en la evolución estratigráfica y el modelaje de la cuenca del occidente del país (NAYA; 2002).

La sedimentación estuvo caracterizada por una espesa y lateralmente extensa sucesión de carbonatos, siliciclastos y depósitos ricos en material orgánico (PINDELL

& TABBUTT, 1995; DAVIS *et al.*, 1999), y cualquier proceso tectónico que pudo haber ocurrido durante este período fue de naturaleza prolongada, como por ejemplo subsidencia termal o la existencia de un punto caliente cercano al margen (KERTZNUS, 2002).

Tanto las rocas graníticas como metamórficas que constituían el basamento, actuaron como elementos paleotopográficos y paleobatimétricos; adelgazando la secuencia de los sedimentos cretácicos (RENZ, 1982; LUGO, 1994; LUGO & MANN, 1995; ERLICH *et al.*, 2000), es por ello que GARCÍA JARPA *et al.*, (1980) sugieren que la superficie ocupada por la transgresión debió presentar un relieve relativamente irregular, donde levantamientos del basamento subaéreos o de aguas someras, determinaron zonas relativamente deprimidas o positivas, que definieron áreas de distinta circulación, diferente aporte y patrones de sedimentación, y con poco intercambio con aguas adyacentes dentro de la masa de agua, así como el adelgazamiento de las secuencias en dirección a estos elementos positivos o subpositivos. Este parcial aislamiento de los espacios de sedimentación, permite reconocer elementos menores pero bien definidos denominados subcuencas. En el occidente de Venezuela, pueden ser reconocidas tres (Figura 4.2): Lara-Trujillo, Uribante y Machiques (GARCÍA JARPA *et al.*, 1980).

Las subcuencas de Lara-Trujillo y Uribante están separadas entre sí por el Arco de Mérida, mientras que la subcuenca de Machiques se conecta ampliamente con el Cretácico de la Cordillera Colombiana. La plataforma de Maracaibo durante el Cretácico se comporta como zona subsidente, ya que confluyen en ella parte de las subcuencas antes mencionadas (GARCÍA JARPA *et al.*, 1980).





**Figura 4.2** Subcuencas cretácicas en el occidente de Venezuela definidas por García Jarpa *et al.*, 1980 (Tomado y modificado de Madrid, 2001)

Según ERLICH *et al.*, (2000a) durante el Cretácico se reportaron cambios climatológicos, pasando de ambientes semi-áridos al inicio, a una alternancia de ambientes húmedos y secos hacia el Cretácico Tardío.

Durante este período la presencia esporádica de material volcánico en la Formación La Luna sugiere la presencia de un arco de islas al oeste localizado en la Placa Caribe original, sobre el borde Pacífico de la Placa Suramericana (PARNAUD *et al.*, 1995).

A continuación se muestra una recopilación de los cambios paleoambientales y estratigráficos más significativos a lo largo del período Cretácico. Estos eventos fueron claramente definidos por algunos autores como PARNAUD, *et al.*, (1995), VILLAMIL Y PINDELL (1998), ERLICH *et al.*, (2000a), entre otros:



#### **4.1.2.1 BARREMIENSE - HAUTERIVIENSE**

En este intervalo Suramérica septentrional desarrolla la fase terminal de extensión, donde la acumulación de sedimentos fue restringida a las zonas de subsidencia activa en las cuencas localizadas en los sitios de máxima extensión cortical por la posición relativa de las isothermas “*postrift*” bajo la corteza continental. A partir de este momento y hasta el Albiense temprano se genera una fase de subsidencia termal y el desarrollo diacrónico de un margen continental pasivo. Durante un período de tiempo que se extiende hasta el Santoniense, la cuenca occidental estuvo abierta hacia el Pacífico e inundada por mares marginales (VILLAMIL Y PINDELL, 1998).

Durante este periodo, la primera transgresión penetra en el territorio venezolano, presumiblemente desde el norte y del oeste y alcanza su clímax durante el Albiense (GARCÍA JARPA *et al.*, 1980).

Las unidades que marcan el inicio de esta secuencia se depositaron en forma discordante sobre las facies continentales de la Formación La Quinta y otros intervalos de capas rojas del Jurásico, así como las formaciones más antiguas de edad Paleozoico. La secuencia estratigráfica compuesta por sedimentos siliciclásticos de aguas someras y algunos carbonatos de arrecife, ha sido definida como Formación Río Negro (PARNAUD, *et al.*, 1995).

#### **4.1.2.2 APTIENSE**

El Aptiense se caracteriza por facies que representan un límite de secuencia de alcance regional y está constituido por intervalos de carbonatos de agua somera interdigitados con sedimentos de mezcla siliciclásticos (Formación Apón), producto



de la variación lateral y el aporte intermitente de terrígenos en la plataforma. Para finales del Aptiense el occidente de Venezuela presenta un aporte de sedimentos de grano fino, así como intervalos con abundancia de fósiles de ambientes marinos someros, marcando una diferencia significativa con el Aptiense temprano, mostrando así la importante influencia del sistema transgresivo durante este periodo.

En este tiempo se inicia la depositación del Grupo Cogollo hacia la Sierra de Perijá, en un ambiente de depositación de plataforma marina somera, representado por intervalos carbonáticos y arcillosos de la Formación Apón, al mismo tiempo se inicia la depositación de los intervalos arenosos de la Formación Aguardiente en la cercanía de los Andes de Mérida. Ambas formaciones (Apón y Aguardiente) representan la continuación de la transgresión cretácica, la cual hace migrar hacia el sur la zona de alta producción de carbonatos (PARNAUD, *et al.*, 1995).

#### **4.1.2.3 ALBIENSE**

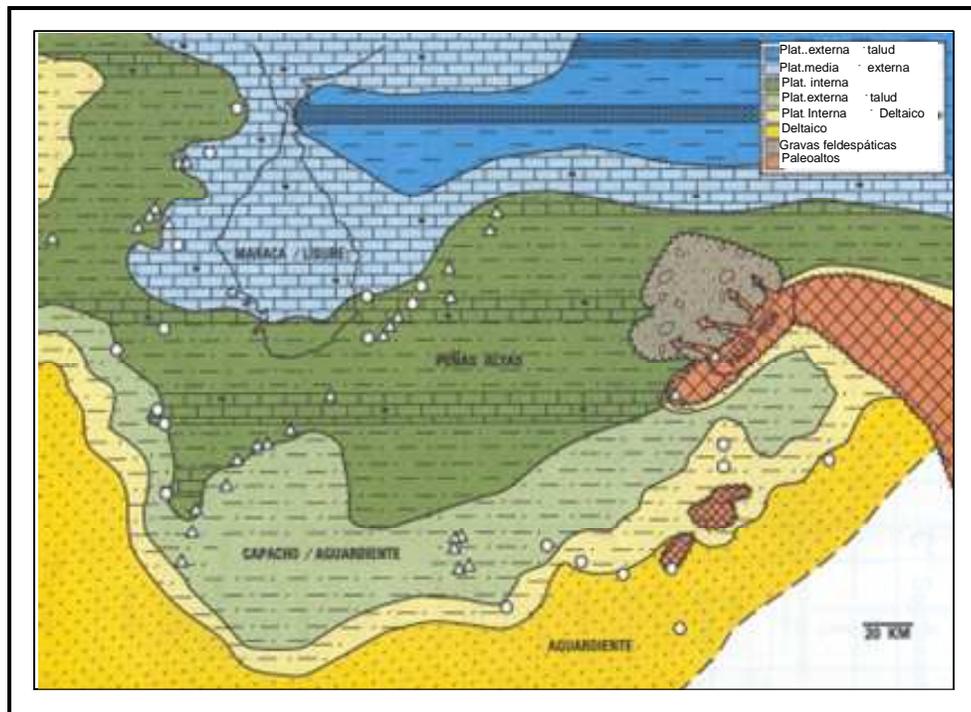
Para el Albiense temprano las características estratigráficas y la dispersión de depósitos siliciclásticos y sistemas carbonáticos de aguas poco profundas, señalan una importante agradación de las facies pre-cretácicas sobre las capas rojas. La agradación fue pronunciada a inicios del Albiense temprano, la cual fue seguida por una transgresión y una ligera regresión (DISCEPOLA & RODRÍGUEZ, 2002).

Durante esta época se deposita de forma discontinua el Miembro Tibú de la Formación Apón y la Formación Lisure (DISCEPOLA & RODRÍGUEZ, 2002).

Para finales del Albiense se tiene registrado el hundimiento de la plataforma de carbonatos de la Formación Maraca (Figura 4.3), el cual fue sincrónico casi a escala mundial y ha sido documentado extensivamente, y puede ser vinculado a varios acontecimientos principales oceanográficos y climáticos (ERLICH, *et al.*; 2000b).

En la parte norte y central de la cuenca de Maracaibo los carbonatos de plataforma interna a media de las formaciones Lisure y Maraca gradan hacia el sur, hacia la base de las arcillas de la Formación Capacho.

El aporte de sedimentos y la discontinuidad de las plataformas carbonáticas son causados por la formación de elementos positivos o subpositivos como el macizo de Santa Marta, Bloque de Paraguaná, macizo de Santander y Andes de Mérida aumentando de esta manera el aporte de siliciclastos en la cuenca, evidenciados en la Formación Aguardiente (ERLICH, *et al.*, 2000a).



**Figura 4.3** Mapa paleogeográfico en el Albiense tardío, realizado por Erlich (1999).  
(Tomado y modificado de Kertzus, 2002)

#### 4.1.2.4 CENOMANIENSE-CONIACIENSE

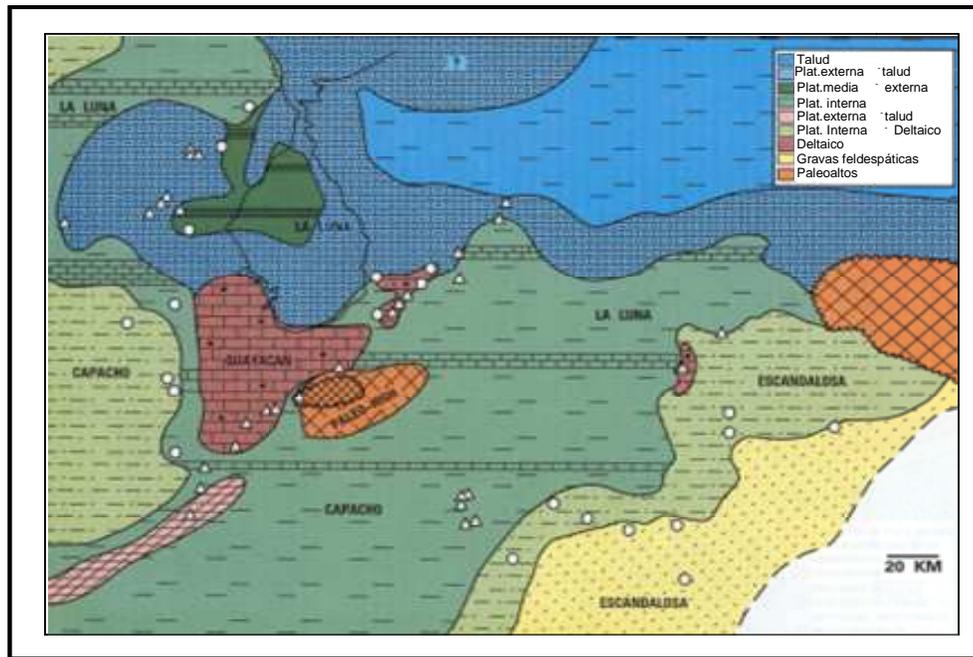
En la sección norte, específicamente en la Serranía de Perijá y el Lago de Maracaibo algunos autores han reportado la presencia de un hiato erosional de edad Cenomaniense temprano que trunca parcialmente secuencias estratigráficas de edad Albiense tardío. Este hiato erosional es atribuido a la colisión del arco volcánico del Caribe original con el norte de la placa Sur Americana y la consecuente deformación flexural de la cuenca, asociado a la formación de un “*forebulge*” localizado en las cercanías del Lago de Maracaibo.

La formación y desarrollo de esta estructura, además de permitir la restricción parcial de la depositación, permite el desarrollo de episodios regresivos, representados por la sedimentación de la Formación Escandalosa.

Según ERLICH *et al* (2000a) durante el Cenomaniense se produce la primera de una serie de cuatro transgresiones marinas que afectan el Cretácico Tardío, la cual se inició en el Albiense tardío y provocó la finalización de la producción de los carbonatos de las formaciones Lisure y Maraca; existiendo de esta manera facies transicionales entre Maraca y La Luna (VILLAMIL & PINDELL; 1998), y depositándose los sedimentos marinos de la Formación Capacho.

En el Cenomaniense se depositan los miembros Seboruco y Guayacán de la Formación Capacho (Figura 4.4), los cuales se caracterizan por presentar arcillas no calcáreas (Miembro Seboruco) encima de las cuales descansan discordantemente los carbonatos de agua somera del Miembro Guayacán. En la base del Miembro Seboruco se presenta un cambio de facies de arcillas distales a limolitas proximales

de aguas someras, este contacto es debido a una caída relativa del nivel del mar durante este tiempo (DISCEPOLA & RODRÍGUEZ, 2002).



**Figura 4.4** Mapa Paleogeográfico en el Cenomaniense realizado por Erlich (1999).

(Tomado y modificado de Kertzus, 2002)

El límite Cenomaniense-Turonense se caracteriza por un episodio transgresivo abrupto asociado a un evento transgresivo de alcance mundial, esto se observa de manera clara en la Formación La Luna (Figuras 4.3 y 4.4). Esta transgresión condujo al hundimiento de la plataforma del Miembro Guayacán y causó el cese casi total de sedimentación, acompañado por un aumento agudo del contenido de COT. El establecimiento de este evento favorece el desarrollo de las condiciones anóxicas del fondo de la cuenca, permitiendo la formación de grandes cantidades de materia orgánica, e intervalos ricos en concreciones, principales características de la Formación La Luna (ERLICH *et al.*, 2000b).



La tercera transgresión marina principal en Venezuela occidental ocurrió durante el Coniaciense-Santoniense temprano, siendo esta la responsable del cambio de los patrones de sedimentación del Turoniense al Coniaciense (Figura 4.5), además debido a esto durante el Coniaciense se presentaron bajas tasas de sedimentación, las cuales aumentan dramáticamente en el Santoniense (ERLICH *et al.*, 2000b).

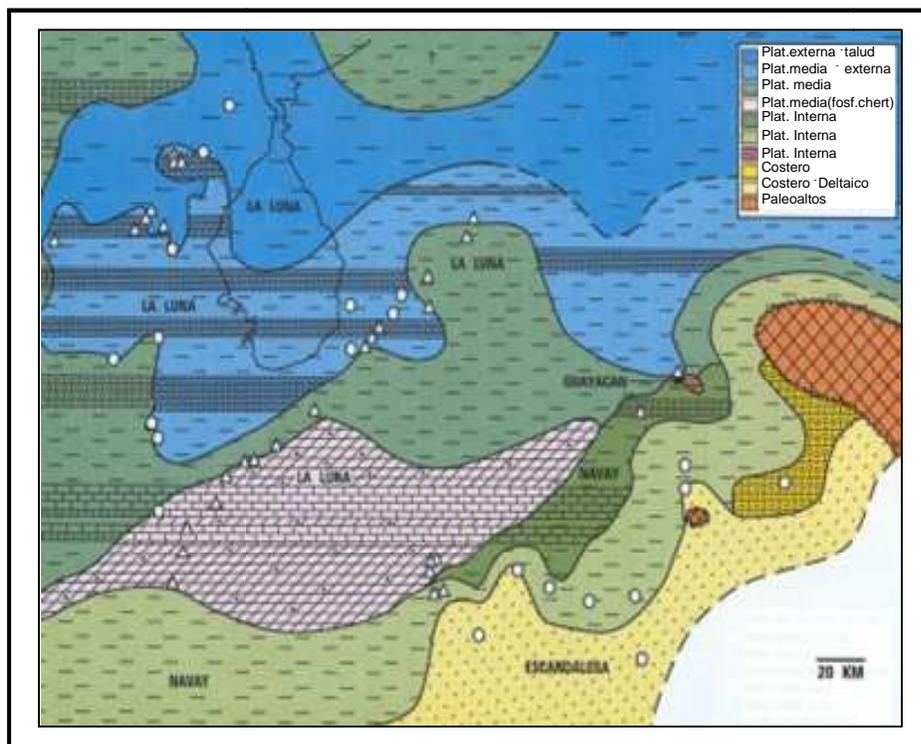
Durante el Cenomaniense-Santoniense los distintos ambientes sedimentarios que caracterizan la época de máxima transgresión fueron referidos según ZAMBRANO *et al.*, (1971) a tres provincias donde se sedimentaron formaciones de litología distinta, que enumeradas de norte a sur son: Provincia Pelágica, Provincia Nerítica y Provincia Costanera.

La Provincia Pelágica se extiende desde la región de la Guajira a través del surco de Machiques y flanco oriental de la Sierra de Perijá, la Plataforma de Maracaibo, la Depresión de Táchira, el flanco noroeste de los Andes Venezolanos y la Depresión de Barquisimeto; en ellas frecuentemente se depositaron sedimentos en condiciones euxínicas de fondo. En la parte suroeste de esta provincia, depresión de Táchira y parte de los Andes, se reconoce una unidad lateralmente equivalente a la parte inferior y media de la Formación La Luna que se designa con el nombre de Formación Capacho (ZAMBRANO *et al.*, 1971).

La Provincia Nerítica está situada al sureste de la anterior y se extiende parcialmente en los contrafuertes surorientales de la cadena andina y la denominada cuenca de Barinas, incluidas las áreas productoras de petróleo. Según FEO CODECIDO (1972) esta provincia puede subdividirse en dos subprovincias distintas: una occidental, que vendría a corresponder a la subcuenca del Uribante y otra oriental, correlacionable con la subcuenca de Barinas. Ambas subprovincias estarían separadas por el Macizo de Colorado y su prolongación en el subsuelo por el Arco de Santa Bárbara. RENZ

(1959) propone que la subprovincia occidental se caracteriza por la secuencia estratigráfica de la Formación Escandalosa, y los miembros La Morita y Quevedo (Formación Navay), y la oriental por las formaciones informales del subsuelo, Fortuna y Esperanza.

ZAMBRANO *et al.*, (1971), definen que la Provincia Costanera, predominantemente arenosa, está situada al sur de la Provincia Nerítica extendiéndose, aproximadamente, hasta el curso del río Arauca; el bisel de esta provincia costanera marca la transgresión máxima hacia el sur de los mares cretácicos. La fuente de sedimentos de esta provincia, así como de la Provincia Nerítica, la constituyó el borde septentrional del Cratón de Guayana.



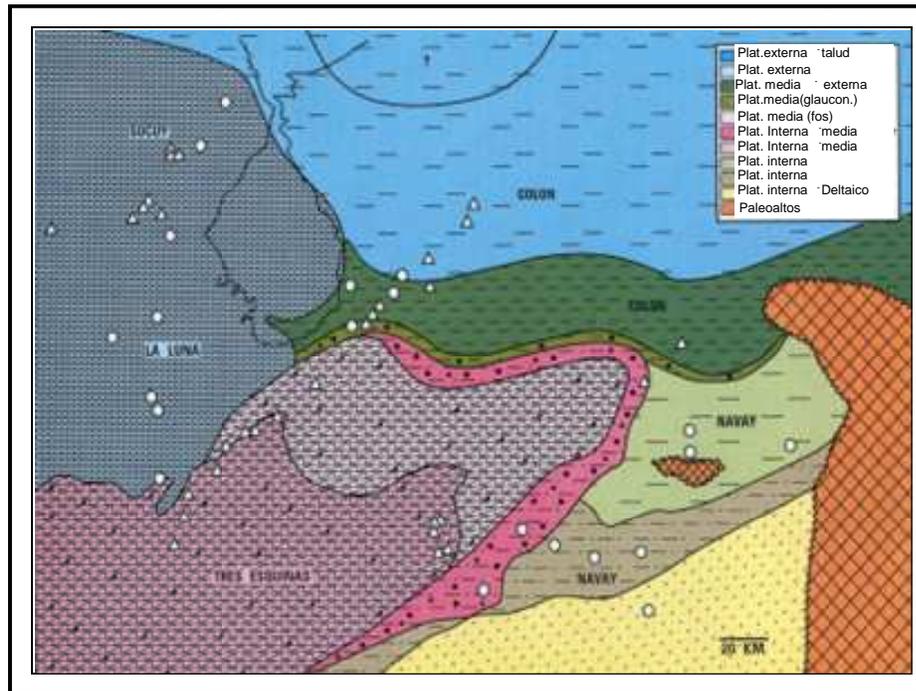
**Figura 4.5** Mapa paleogeográfico en el Turoniense, realizado por Erlich (1999).  
(Tomado y modificado de Kertzus, 2002)



#### 4.1.2.5 SANTONIENSE-CAMPANIENSE

En este periodo son reportados cambios en las condiciones climáticas y la presencia del Miembro Tres Esquinas marca el final del ciclo sedimentario de la Formación La Luna (GOSH, 1984; ERLICH Y LORENTE, 1997).

A finales del Santoniense e inicios del Campaniense, ocurre un cambio regional duradero en las condiciones de sedimentación, caracterizado por el regreso intermitente de aguas oxigenadas de fondo, depositándose capas de chert intercaladas con clásticos finos, representado por el Miembro Ftanita del Táchira desarrollado en el estado Táchira, y unidades fosfático-glaucóníticas del Miembro Tres Esquinas, interpretado por GOSH (1984) y MACELLARI (1988), como una superficie condensada transgresiva, la cual se desarrolla desde la parte centro-occidental de la plataforma de Maracaibo hasta los Andes merideños (KERTZNUS, 2002). (Figura 4.6)



**Figura 4.6** Mapa paleogeográfico en el Campaniense, realizado por Erlich (1999).

(Tomado y modificado de Kertznus, 2002)



Al final de este periodo se produce el cuarto periodo transgresivo que afecta el occidente de Venezuela, el cual se produjo a mediados del Campaniense y alcanzó su máximo a finales del Campaniense e inicios del Maastrichtiense.

El tectonismo durante el Cretácico Tardío se manifiesta en el modelaje de las cuencas terciarias que marcan la regresión marina (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980). Durante el Campaniense tardío – Maastrichtiense, el movimiento del arco volcánico pacífico provoca un cambio en el régimen tectónico que transforma el margen pasivo en un cinturón colisional, donde los esfuerzos compresivos generan un “*foredeep*” al oeste y un “*forebulge*” asociado, que migra del Lago de Maracaibo a Barinas-Apure, sin embargo, de norte a noreste las condiciones de margen pasivo continúan hasta el emplazamiento de las Napas de Lara (PARNAUD *et al.*, 1995).

#### **4.1.2.6 MAASTRICHTIENSE**

Este periodo fue dominado por la sedimentación de las formaciones Colón y Mito Juan, donde la progradación de las arcillas de la Formación Colón sobre el Miembro Tres Esquinas, es seguida por una disminución de la profundidad durante la sedimentación de la Formación Mito Juan. Esta progradación y posterior regresión demuestra el final del relleno del espacio creado durante la depositación de la Formación La Luna.

Durante el Maastrichtiense tardío el sistema depositacional refleja una influencia de una continua deformación estructural en el este de Colombia, junto con el cambio paleoclimático ocurrido a final del Cretácico. La convergencia de la placa del Caribe hacia el oeste de Venezuela produce el desarrollo de una cuenca antepaís “*foreland*” en Maracaibo, la cual continua a finales del Maastrichtiense y durante todo el Paleoceno.



## 2.2 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL DEL OCCIDENTE DE VENEZUELA

La estratigrafía regional en el Cretácico comprende secciones carbono-clásticas que han sido subdivididas por Parnaud, *et al.*, (1995) como supersecuencias depositacionales. Anteriormente estas han sido mencionadas desde el punto de vista tectónico, en este punto serán enfocadas específicamente en el campo estratigráfico, como se muestra en la Tabla 4.1

**Tabla 4.1** Secuencias estratigráficas del Cretácico definidas por PARNAUD *et al.*, (1995).

(Sec = Secuencia, Fm = Formación)

Sec	Fm	Características*	Contactos*	Ambiente*
K6	Colón	Lutitas microfósilíferas gris oscuro a negras, macizas, piríticas y ocasionalmente micáceas o glauconíticas, con margas y capas de caliza subordinada.	Basal concordante y superior concordante y transicional.	Mar abierto con disminución de la profundidad hacia el tope donde comienza el ciclo de regresión del Terciario.
		*Fósiles: abundancia de foraminíferos béticos y plácticos y en algunos horizontes se encuentran restos fósiles de moluscos.		
		*Fósiles: contiene pocos fósiles béticos; abundan los foraminíferos plácticos ( <i>Rotalipora</i> , <i>Globotruncana</i> , <i>Guembelina</i> ) y los restos de peces. Los amonites ( <i>Coilopoceras</i> , <i>Barroisiceras</i> , <i>Hoplitoides</i> , <i>Neoptychites?</i> <i>Peroniceras</i> , <i>Texanites</i> ) son localmente comunes. El Turoniense está bien establecido por la presencia del lamelibranchio de concha tenue <i>Inoceramus labiatus</i> y numerosas especies de amonites ( <i>Texanites texanum</i> y <i>Parelasticeras sieversi</i> ), los cuales son índices del Santoniense; en el tope de la formación <i>Bolivinoidea culverensis</i> y <i>Bolivinoidea sirticus</i> del Campaniense, donde además destacan las abundantes bioturbaciones producidas por <i>Planolites</i> y <i>Thalassinoides</i> . El diámetro de los icnofósiles aumenta hacia el tope de la sección.		



K2	Escandalosa	Areniscas macizas, cuarzosas y muy glauconíticas, con cantidades menores de lutitas negras carbonáticas. En el tope de la sección, se encuentra una caliza gris oscura, masiva, cristalina y coquinoidea, con manchas de dolomita microcristalina.	Ambos concordantes.	Ambiente nerítico de plataforma, variando desde litoral al sur, hacia nerítico externo al norte.
		*Fósiles: ejemplares de <i>Ostrea</i> spp. y foraminíferos no definidos, restos de peces e <i>Inoceramus</i> sp, palinomorfos y dinoflagelados, <i>Oligosphaeridium pulcherrimum</i> , <i>Exhosphaeridium phragmites</i> , <i>Florentina resex</i> , y <i>Dinogymnium</i> spp., en tres muestras tomadas en el tope y base de Escandalosa y en la base de Maraca, identificaron a <i>Odontochitina operculata</i> y <i>Corralina</i> sp. (del Albiense temprano-Cenomaniense) y <i>Odontochitina costata</i> , <i>Gnetaceaepollenitis diversus</i> , <i>Xiphophoridium alatum</i> , y <i>Ariadnaesporites</i> sp. (Cenomaniense-Turoniense). Presencia de <i>Neobulimina minima</i> en la lutita basal de la formación, géneros de amonites coniacienses, <i>Lenticeras</i> , <i>Gauthiericeras</i> , <i>Prionocyclus</i> y <i>Peroniceras</i> .		



**Tabla 4.1** Continuación

Sec	Fm	Características*	Contactos*	Ambiente*
K2	Capacho	Lutitas duras de color gris oscuro a negro, calizas duras de colores claros, frecuentemente fosilíferas, y ocasionales limolitas. Calizas coquinoides con bivalvos y foraminíferos.	Ambos concordantes	Ambiente de plataforma interna, con aguas entre 10 y 70 m de profundidad.
		*Fósiles: hacia la base se señalan foraminíferos plácticos del grupo <i>Rotalipora</i> ( <i>Ticinella</i> , <i>Thalmaninella</i> ), y cerca del tope, amonites que incluyen el género <i>Coilopoceras</i> .		
	Maraca	Consiste en pocas areniscas glauconíticas y calcáreas hacia la base. Calizas bioclásticas coquinoides macizas, y algunas, intercalaciones de capas delgadas de margas y lutitas de color gris y ocre claros.	Ambos transicionales	Ambientes lagunales a intramarea en la base, que pasa a marino llano hacia el tope.
*Fósiles: <i>Exogira boussingaulti</i> , <i>Ostrea scyfax</i> , localmente <i>Terebratula</i> y rudistas. En el tope de la formación, amonites de los géneros y subgéneros <i>Oxitropicoceras</i> (venezoliceras), <i>Hysterocheras</i> , <i>Mortoniceras</i> , <i>Parengonoceras</i> , <i>Knemiceras</i> , <i>Neophlycticeras</i> , <i>Desmoceras</i> , <i>Anapuzosis</i> y <i>Bihamites</i> , dentro de la zona <i>Hysterocheras</i> .				

\*Tomado y Modificado del Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela, 1997

## CAPÍTULO V

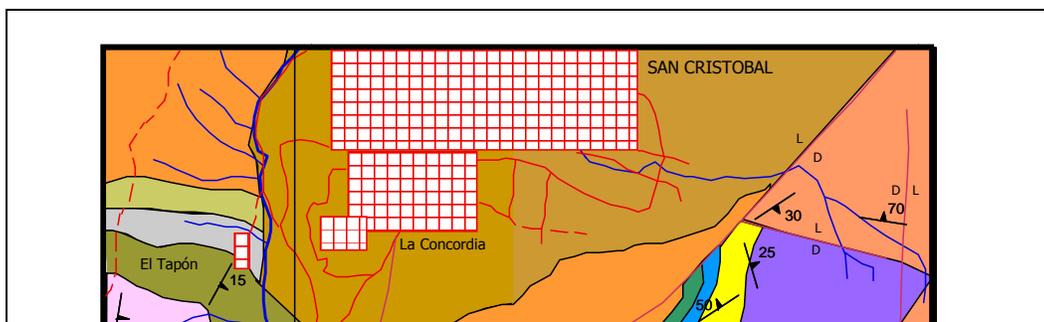
## DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 GEOLOGÍA LOCAL

La secuencia estudiada de la sección La Ortiza posee un espesor de 39,65 m, esta corresponde a la Formación La Luna y se compone de lutitas y calizas, observándose hacia la base mayor presencia de estratos lutíticos, y hacia el tope una distribución igual de ambas litologías. Las lutitas se caracterizan por su color negro, laminaciones, contenido de azufre y óxido de hierro. Las calizas son de color gris plomo, con menor espesor hacia la base, que van aumentando hacia el tope (Anexo 1).

La sección fue dividida en tres intervalos según la ocurrencia y espesores litológicos. El primero de estos intervalos ubicado hacia la base está constituido por estratos de lutitas de espesores entre 0,64 m y 3,48 m, intercalados con estratos de caliza de 0,20 m y 0,22 m. El segundo intervalo se ubica en el medio de la sección, donde los estratos de lutita mantienen el espesor, y se diferencia del intervalo anterior debido al aumento en la ocurrencia de los estratos de caliza, que tienen espesores entre 0,14 m y 1,27 m, encontrándose estratos de chert en la parte media y tope de la unidad. El tercer intervalo se encuentra en el tope y se caracteriza por tener un incremento en los espesores de ambas litologías, teniendo las lutitas espesores entre 0,22 m y 3,50 m, y las calizas entre 0,32 m y 4,79 m.

A continuación en la figura 5.1 se muestra la geología local que comprende la zona de estudio.





**Figura 5.1** Mapa Geológico estructural de San Cristóbal, estado Táchira realizado por Creole Petroleum Corporation- Hoja H-2, geología de superficie (Tomado y modificado de González & Sánchez, 2001)

## **5.2 DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES QUÍMICAS**

Con los valores obtenidos de los análisis químicos realizados (Tabla 5.1 y 5.2), la sección de estudio fue dividida en tres unidades químicas, que fueron establecidas de



acuerdo a los marcadores químicos de primer orden, las cuales son descritas a continuación:

**Tabla 5.1** Valores expresados en porcentaje de los elementos mayoritarios para la sección La Ortiza (Lit. = Litología; Prof. = Profundidad)

Muestra	Lit.	Prof.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	V	MnO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
OR-138	Lutita	39,6	65,3	18,6	0,309	1,92	0,597	166	0,01	1,5	7,35
OR-137		39,5	69,5	19,3	0,353	2,01	0,675	197	0,01	1,83	2,67
OR-136		39,2	71,5	18,7	0,24	1,99	0,652	212	0,01	1	2,11
OR-135		38,9	71,6	18,7	0,224	2,05	0,64	157	0,01	1,43	1,74
OR-134		38,6	73,2	18,5	0,221	1,96	0,597	151	0,01	1,26	1,28
OR-133		38,3	73,2	18,1	0,223	1,93	0,575	215	0,01	1,01	1,62
OR-132		38	73	18,2	0,216	1,96	0,561	206	0,01	1,74	1,54
OR-131		37,7	74,5	17	0,248	1,8	0,474	162	0,01	1	1,6
OR-130		37,4	74,1	17,5	0,231	1,88	0,542	193	0,01	1	1,79
OR-129		37,1	71,2	16,2	0,212	1,7	0,413	155	0,01	1,12	5,32
OR-128		36,8	75,4	16,9	0,213	1,72	0,506	224	0,01	1,15	0,78
OR-127		36,5	78,4	16,3	0,246	1,56	0,387	215	0,01	1,3	0,278
OR-126		36,2	78,4	15,8	0,237	1,48	0,32	270	0,01	1,25	0,957
OR-125		Caliza	36,1	1,16	0,602	51,4	0,59	0,01	20	0,01	1
OR-124	35,5		4,47	0,793	50,8	0,596	0,01	20	0,01	1	0,01
OR-122	33,5		1,44	0,763	51,7	0,588	0,01	44	0,01	1	0,01
OR-121	32,5		4,35	1,55	50	0,644	0,01	20	0,01	1	0,01
OR-120	31,5		6,77	2,45	47,8	0,681	0,01	20	0,01	1	0,809
OR-119	Lutita	31,4	67,5	18,8	0,62	1,83	0,93	237	0,01	1	3
OR-118		31,2	59,4	17,9	7,11	1,7	0,733	69	0,01	1	3,98
OR-117	Caliza	31	5,82	2,90	47,7	0,715	0,01	20	0,01	1	0,05
OR-116		30,8	3,08	0,265	39,2	0,581	0,01	55	0,01	1	7,98
OR-115	Lutita	30,7	67,8	18,5	0,639	1,82	0,708	174	0,01	1	3,76
OR-114		30,6	66,2	19,6	0,277	2,16	0,773	228	0,01	1	3,35
OR-113		30,4	67,2	19,2	0,395	2,09	0,754	192	0,01	1	3,54
OR-112		30,2	66,3	19,7	0,266	2,12	0,783	203	0,01	1,2	3,7
OR-111		30	66,7	19,5	0,339	2,14	0,752	159	0,01	1	3,57
OR-110		29,8	68,1	19,7	0,297	2,18	0,802	165	0,01	1	2,8
OR-109		29,6	67,8	19,7	0,325	2,13	0,757	226	0,014	1,09	3,11
OR-108	29,4	67,4	19,7	0,244	2,27	0,795	208	0,01	1,33	3,03	



**Tabla 5.1** Continuación

Muestra	Lit.	Prof.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	V	MnO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
OR-107	Lutita	29,2	69,4	18,4	0,244	1,94	0,76	188	0,01	1	3,22	
OR-106		29	69,5	19,1	0,234	2	0,821	187	0,01	1	2,88	
OR-105		28,8	69,9	18,5	0,297	1,87	0,813	208	0,01	1	2,98	
OR-104		28,6	70,5	18,7	0,219	1,9	0,803	226	0,01	1	2,6	
OR-103		28,4	71,2	18,7	0,233	1,88	0,789	217	0,01	1,18	2,15	
OR-102		28,2	72,3	17,7	0,227	1,82	0,682	262	0,01	1	2,17	
OR-101		28	73	17,1	0,278	1,79	0,567	347	0,01	1	2,44	
OR-100		27,9	72,6	16,8	0,864	1,54	0,398	444	0,017	1	3,05	
OR-99	Caliza	27,7	0,42	0,477	52	0,641	0,01	20	0,014	1	0,01	
OR-98		26,8	0,60	0,531	51,4	0,592	0,01	20	0,01	1	0,01	
OR-97		25,6	2,79	1,93	48,6	0,715	0,01	20	0,01	1	0,921	
OR-96	Lutita	25,5	64,8	19,4	0,374	2,03	0,929	225	0,018	1	5,67	
OR-95		25,3	68,3	18,3	0,649	2	0,939	148	0,01	1	3,07	
OR-94	Lutita	25,2	65,9	19,3	0,333	2,16	0,967	159	0,011	1	3,64	
OR-93		25	65,6	19,3	0,389	2,08	0,953	144	0,01	1,000	3,73	
OR-		24,8	65,9	19,6	0,466	2	0,931	165	0,01	1	4,23	
OR-92		24,8	66,3	20,2	0,307	2,16	0,954	203	0,022	1	3,31	
OR-91		24,6	66,6	19,2	0,469	2,05	0,89	191	0,017	1	3,92	
OR-90		24,4	68,9	19,2	0,244	2,13	0,928	181	0,01	1	2,9	
OR-89		24,2	68,4	19,8	0,225	2,25	0,961	161	0,01	1,26	2,07	
OR-88		24	70,3	18,9	0,219	2,18	0,878	154	0,01	1	1,89	
OR-87		23,8	69,5	18,1	0,22	2,1	0,839	140	0,01	1	2,01	
OR-86		23,6	71,2	18,9	0,228	2,160	0,759	147	0,01	1	1,37	
OR-85		23,4	72,9	18,1	0,221	1,98	0,628	161	0,01	1	1,48	
OR-84		23,2	75,2	17	0,223	1,73	0,417	194	0,01	1	1,62	
OR-83		23	70,7	15,7	3,12	1,41	0,301	307	0,011	1	2,88	
OR-82		22,8	58,5	8,67	20,3	0,88	0,027	88	0,01	1	1,57	
OR-81		Caliza	22,3	59,4	11,1	17,9	1,04	0,142	43	0,01	1	0,658
OR-80			21,8	0,01	0,58	52,2	0,6	0,01	20	0,01	1	0,01
OR-79	21,3		0,01	0,807	51,9	0,624	0,01	20	0,01	1	0,01	
OR-78	20,8		1,93	1,91	50,6	0,671	0,01	20	0,01	1	0,01	
OR-77	20,6		1,65	0,921	45,5	0,652	0,01	113	0,01	3,05	0,01	
OR-76	Lutita	15,6	63,3	22,6	0,572	2,38	1,07	93	0,01	1,41	2,32	
OR-75		15,4	64,4	21,3	0,532	2,35	1,03	122	0,01	1,37	2,63	
OR-74	Chert	15,2	72,7	15,4	0,389	2,12	0,556	136	0,01	1	4,12	
OR-73	Lutita	15,1	63,3	22,1	0,859	2,32	1,06	131	0,01	1	2,92	
OR-72		14,9	64,9	21,4	0,465	2,36	1,03	136	0,01	1,3	2,88	
OR-71		14,7	62,9	22,8	0,454	2,35	1,07	118	0,01	1,17	3,15	
OR-70		14,5	65,3	20,6	0,473	2,36	1,07	131	0,01	1,27	2,94	
OR-		14,3	63,6	21,4	0,359	2,42	1,01	105	0,01	1	3,56	
OR-		14,3	65,7	13,2	6,95	1,14	0,387	20	0,011	1	3,7	

**Tabla 5.1** Continuación



Muestra	Lit.	Prof.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	V	MnO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
OR-69		14,3	65	20,3	0,641	2,20	0,825	32	0,01	1	3,39
OR-68	Lutita	14,2	18,6	3,34	39,4	0,863	0,028	20	0,013	1	0,884
OR-67		14,1	75,7	13,3	0,834	1,45	0,58	15	0,014	1	3,56
OR-66		13,8	75,5	13,3	1,68	1,20	0,547	31	0,01	1	3,27
OR-65	Caliza	13,6	71,5	15,5	1,51	1,41	0,683	53	0,01	1	3,24
OR-		13,4	62	21	0,6	2,45	0,91	76	0,02	1,72	5,4
OR-64		13,4	68,6	17,5	0,956	2,21	0,864	122	0,011	1	3,17
OR-63		13,2	64,6	18,1	1,31	2,26	0,849	40	0,01	1	4,98
OR-62	Lutita	13	66,9	17,8	0,942	2,43	0,92	64	0,013	1	4,26
OR-61		12,8	65,1	17,3	2,84	2,27	0,773	20	0,01	1	4,34
OR-60		12,6	63,6	18,8	1,46	2,34	0,83	65	0,021	1	6,15
OR-59	Caliza	12,5	16,5	4,86	40,2	0,896	0,025	20	0,041	1	1,99
OR-58		12,3	39,5	6,9	35,6	0,963	0,049	20	0,046	1	1,78
OR-57		12,1	66,7	19	0,755	2,30	0,796	105	0,01	1	3,9
OR-56		11,9	62,5	21,8	0,572	2,48	0,972	116	0,01	1,53	3,72
OR-55	Lutita	11,7	65,1	20,4	0,552	2,47	0,928	152	0,01	1	3,9
OR-54		11,5	63	21,3	0,609	2,55	0,987	118	0,01	1,13	3,9
OR-53		11,3	64,5	18,3	0,556	2,23	0,752	116	0,01	1	6,23
OR-52		11,1	61,5	22,8	0,622	2,61	1,03	54	0,01	1,78	3,34
OR-51	Lutita	10,9	63,6	21,3	0,585	2,57	1	77	0,01	1,14	3,8
OR-50		10,7	64,3	20,8	0,544	2,54	0,95	81	0,01	1,32	3,6
OR-49	Chert	10,5	21,7	13,9	2,25	0,971	0,156	20	0,529	5,12	4,36
OR-48		10,3	61,4	23	0,603	2,57	0,994	96	0,01	1,67	3,67
OR-47		9,5	62,1	21,7	0,594	2,54	0,95	110	0,011	2,3	4,12
OR-46		9,3	60,6	20,2	0,608	2,37	0,875	37	0,024	2,98	5,29
OR-45		9,1	61	21,3	0,629	2,42	0,905	78	0,019	2,37	5,54
OR-44		8,9	60	22	0,621	2,42	0,878	84	0,024	2,78	5,29
OR-43		8,7	61,3	21,7	0,684	2,33	0,881	138	0,028	2,23	4,83
OR-42		8,5	61,5	21,9	0,687	2,41	0,886	77	0,017	2,39	4,6
OR-41	Lutita	8,3	61,3	21,9	0,657	2,44	0,859	133	0,014	2,06	4,67
OR-40		8,1	61	21,5	0,79	2,33	0,86	49	0,01	2,13	5,24
OR-39		8	63,7	21	0,576	1,87	0,873	139	0,01	1	4,6
OR-38		7,9	62,9	21,8	0,605	1,92	0,925	162	0,01	1,93	3,58
OR-37		7,7	64,4	21,4	0,57	1,92	0,933	158	0,01	1,3	3,15
OR-36		7,5	63,9	21,2	0,58	1,90	0,902	163	0,01	1	3,74
OR-35		7,3	57	14,8	14,7	1,21	0,358	20	0,01	1	2,2
OR-34		7,1	64,9	21,4	0,495	1,91	0,987	170	0,01	1,25	2,35
OR-33		6,9	8,37	3,54	46,9	0,699	0,01	20	0,027	1	0,773
OR-32	Caliza	6,4	3,28	1,41	49,8	0,729	0,01	20	0,005	1	0,01
OR-31		5,9	12,7	2,87	44,5	0,708	0,01	20	0,01	1	0,653
OR-30		5,7	67,5	16	1,43	1,88	0,587	20	0,023	1	5,1
OR-29	Lutita	5,5	65,7	17,3	1,1	2,12	0,687	105	0,03	1	4,96
OR-28		5,3	64,2	1,33	7,45	0,01	0,01	101	0,783	1	2,08
OR-27	Caliza	5	69,2	9,65	6,629	0,877	0,291	20	0,014	1	4,31

**Tabla 5.1** Continuación

Muestra	Lit.	Prof.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	V	MnO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
---------	------	-------	------------------	--------------------------------	-----	------------------	------------------	---	-----	-----	--------------------------------



		(m)						(ppm)			
OR-26	Lutita	4,8	66,8	18,3	0,401	2,13	1,03	105	0,01	1	3,34
OR-25		4,6	74,8	13,1	1,51	1,27	0,441	20	0,01	1	2,43
OR-24		4,4	71,5	15,2	0,786	1,56	0,68	37	0,01	1	4,01
OR-23		4,2	65,7	18,6	0,399	2,17	0,957	182	0,01	1	3,72
OR-22		4	65,9	18,2	0,387	2,19	0,865	50	0,01	1	4,42
OR-21		3,8	69,8	16	0,849	1,77	0,599	96	0,01	1	4,16
OR-20	Lutita	3,6	60,5	22,9	0,583	2,46	1,09	136	0,01	1,26	3,88
OR-19		3,4	59,9	22,8	0,506	2,45	1,09	80	0,01	2,14	3,94
OR-18		3,2	61,9	22	0,509	2,47	1,03	118	0,01	1,98	3,75
OR-17		3	62,6	20,4	0,445	2,43	0,941	104	0,01	1,44	4,36
OR-16		2,9	62,8	20,6	0,515	2,43	0,983	74	0,01	1,37	3,97
OR-15		2,7	62	22,3	0,505	2,5	1,03	164	0,01	2,18	3,38
OR-14		2,6	63	20,2	0,535	2,42	0,955	66	0,01	1,59	4,43
OR-13		2,4	60,4	21,8	0,523	2,41	1,01	118	0,01	2,41	4,85
OR-12		2,2	60,5	21,5	0,491	2,34	0,955	119	0,01	1,63	5,47
OR-11		2	59,6	22,8	0,505	2,41	1,06	103	0,01	1,74	4,82
OR-10		1,8	61,7	21,7	0,498	2,43	1,06	145	0,01	1,39	4,22
OR-9		1,6	62	21,4	0,541	2,4	0,991	104	0,01	1,62	4,45
OR-8		1,4	57	20,3	5,89	2,08	0,911	20	0,01	1	3,6
OR-7		Caliza	1,2	8,85	3,85	41,7	0,779	0,01	20	0,045	1
OR-6	Lutita	1	62,6	20,7	0,645	2,3	0,981	84	0,01	1,31	4,31
OR-5		0,8	61,1	21,2	0,71	2,29	1,02	71	0,01	1,79	4,5
OR-4		0,6	61,4	21,4	0,674	2,31	1,01	107	0,01	1,55	4,48
OR-3		0,4	60,7	21,2	0,67	2,27	0,973	65	0,01	1,45	4,98
OR-2		0,2	60,2	21,6	0,633	2,21	0,962	127	0,01	1,78	5,03
OR-1		0	60,7	19,7	0,651	2,2	0,941	81	0,01	1,23	4,49

**Tabla 5.2** Valores expresados en ppm de los elementos traza para la sección La  
Ortiza



(Prof. = Profundidad)

Muestra	Litología	Prof. (m)	Co	Mo	Ni	Pb	Rb	Sr	Zn	Zr
OR-138	Lutita	39,6	331	10	80	36	91	96	47	20
OR-136		39,2	128	7	125	40	91	98	53	23
OR-133		38,3	114	8	125	25	87	94	36	15
OR-130		37,4	103	6	91	32	79	90	27	11
OR-127		36,5	80	9	80	25	64	70	20	10
OR-125	Caliza	36,1	80	5	214	10	10	269	37	10
OR-122		33,5	80	5	318	10	11	266	20	10
OR-118	Lutita	31,2	186	22	191	33	78	133	102	49
OR-115		30,7	177	11	80	36	84	88	46	83
OR-110		29,8	185	6	80	42	97	68	154	33
OR-105		28,8	216	10	136	38	91	74	60	80
OR-102		28,2	106	16	80	35	72	59	24	49
OR-99	Caliza	27,7	80	5	80	16	10	603	20	10
OR-95	Lutita	25,6	80	12	171	34	87	73	52	126
OR-88		24	182	9	118	34	95	68	34	99
OR-82		22,8	80	29	140	18	32	223	190	10
OR-79	Caliza	21,3	81	5	199	10	10	381	41	10
OR-75	Lutita	15,4	113	8	254	41	105	80	58	151
OR-69		14,3	118	8	166	36	91	72	45	221
OR-64		13,4	187	8	175	43	100	89	34	429
OR-60		12,6	291	8	80	47	109	90	59	265
OR-57		12,1	196	5	236	42	100	65	37	184
OR-53		11,3	392	5	272	79	87	68	216	154
OR-48		10,3	80	7	84	52	134	85	55	76
OR-43		8,7	80	6	225	56	132	89	66	85
OR-39		8	236	9	238	48	92	76	50	41
OR-35		7,3	80	5	141	37	51	223	34	12
OR-31		Caliza	5,9	80	5	213	10	18	479	20
OR-26	Lutita	4,8	147	8	141	38	74	76	38	250
OR-22		4	188	10	80	44	87	69	34	266
OR-16		2,9	160	7	177	47	104	74	38	146
OR-6		1	80	11	80	55	115	88	41	118
OR-1		0	197	9	127	54	119	89	52	104

### 5.1.1 UNIDAD Q1



La unidad Q1 se encuentra entre la base de la sección y el marcador A, y comprende un espesor de 5,6 m. Esta unidad presenta altas concentraciones de  $\text{SiO}_2$  (74,8 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (22,9 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (2,47 %),  $\text{TiO}_2$  (1,09%), Pb (55 ppm), Rb (119 ppm) y Zr (266 ppm), y bajas concentraciones de CaO (2,62%), Ni (177 ppm), Sr (89 ppm) y Zn (52 ppm) (Tablas 5.3 y 5.4). Las variables que la definen son los marcadores de primer orden  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ , las cuales mantienen un comportamiento uniforme a lo largo de la unidad, exceptuando el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{TiO}_2$  que disminuyen hacia el tope (ANEXO 2).

Litológicamente, existe un predominio de estratos lutíticos con respecto a los estratos carbonáticos en toda la unidad, lo que explica los porcentajes elevados en las variables  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  y Rb, debido a que éstas están asociadas a litologías de granulometría de menor tamaño y material arcilloso (YARINCYK & MURRAY, 2000; BRICEÑO & CALLEJÓN, 2000).

El Pb presenta valores comprendidos entre 38-55 ppm, con los mayores hacia la base y van disminuyendo hacia el tope de la unidad, y su presencia en esta unidad indica por los altos valores de  $\text{SiO}_2$  asociados (ANEXO 3), que parece provenir de fracciones terrígenas de grano fino (PEDERSON, 2000). El Zr posee un aumento notable hacia el tope de la unidad con un valor de 266 ppm, este aumento también lo presentan el Co (197 ppm), Ni (177 ppm) y el Pb (55 ppm) (ANEXO 4), lo que nos indica que pueden ser marcadores de segundo orden.

En el perfil del %CaO (ANEXO 2), este elemento presenta en general bajos porcentajes, entre 0,38 % y 7,45 %, estos valores se asocian con los intervalos más lutíticos de la secuencia, lo que resulta útil para definir el predominio de una litología respecto a la otra. El Sr se presenta en general con valores entre 69 ppm y 74 ppm, con un único pico hacia el tope que alcanza un valor de 89 ppm (ANEXO 5), lo que



puede significar que la unidad empieza a ser carbonática, ya que este elemento está asociado a los carbonatos (BRICEÑO & CALLEJÓN, 2000; BARITTO, 2003).

La relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  representa variaciones en la energía del medio. En esta unidad la relación química mantiene valores bajos, entre 2,30 y 7,17 (ANEXO 6), debido a la presencia de abundantes minerales de arcilla (BRICEÑO & CALLEJÓN, 2000; CHACÍN, 2003); lo que confirma lo antes propuesto de que la litología es en su mayoría lutítica. Hacia el tope de la unidad se observa un máximo que puede representar un aumento en la energía.

La relación entre sedimentación siliciclástica y carbonática está representada por el  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{CaO}$  (BRICEÑO & CALLEJÓN, 2000). En esta unidad la relación presenta en general valores entre 101,1 y 217,3, aunque hacia la base y en el tope hay una notable disminución de los valores (0,305-13,1 y 8,8-11,9 respectivamente) (Tabla 5.5 y ANEXO 6). Los valores más altos indican el predominio de la sedimentación siliciclástica, y por el contrario los valores bajos representan la sedimentación carbonática, lo que indica que en esta unidad predomina la sedimentación siliciclástica.

Según YARINCIK & MURRAY (2000), la relación  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$  indica los tipos de arcillas y asocian altos valores de esta relación al predominio de arcillas tipo caolinita que es más acentuado en suelos de climas tropicales, debido a la pérdida de iones solubles. Los valores bajos pueden representar el contenido de feldespato potásico y/o micas predominante sobre el material arcilloso (CHACÍN, 2003). En este caso hay valores bajos (4,94-10,3) a lo largo de la unidad, exceptuando en el tope donde hay un máximo de 133; dicho máximo coincide con el del  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  esto puede indicar que había más energía en el medio, por lo que estaba cerca de la fuente y la caolinita se mantiene estable debido a que no ha sufrido tanto transporte, considerando que la caolinita no es autigénica.



La relación  $TiO_2/Al_2O_3$  representa variaciones en la granulometría, indicando los valores bajos el aporte de material detrítico de menor tamaño (YARINCIK & MURRAY, 2000). En esta unidad los valores son bajos, de 0,003 a 0,056 (Tabla 5.5), y son notables dos mínimos (0,003 en la base y 0,008 en el tope) (ANEXO 6), que puede representar que el material era de menor tamaño de grano en estas lutitas.

La relación  $Zr/Al$  presenta valores bajos (19,94-26,77) hacia la base de la unidad lo que puede indicar la presencia de material clástico, debido a que hay un mayor contenido de Al; y hacia el tope tiene valores altos (51,60-55,21) que pueden representar materiales no clásticos, debido a que disminuye el contenido de Al y aumenta el Zr.

Según JONES & MANNING (1993) la relación  $Ni/Co$  ha sido usada como un índice redox. Los mismos autores señalan que valores altos reflejan condiciones de oxidación. Hacia la base de la unidad, la relación puede representar un ambiente con poco oxígeno, debido a los valores entre 0,64 y 1,1, que no varía sino hacia el tope que pasa a tener condiciones de oxidación, representado por el incremento en el valor (2,66) (ANEXO 6).

La relación  $V/(V+Ni)$  indica el relativo potencial redox de un ambiente depositacional (LEWAN & MAYNARD, 1982; LEWAN, 1984). Según JONES & MANNING (1993) los valores bajos indican oxidación y los altos reducción, según HATCH & LEVENTHAL (1991) los valores entre 0 y 0,4 indican una columna de agua oxigenada, entre 0,4 y 0,6 una columna de agua disóxica, y entre 0,6 y 0,8 anóxica. En este caso se muestran valores que van de 0,08 a 0,512 lo que indica que hay una variación cíclica entre las condiciones de oxigenación y disoxia (Tabla 5.6 y ANEXO 6).



La relación V/Ni indica condiciones redox, y debido a que presenta un comportamiento muy similar al de la relación V/(V+Ni) refleja las mismas condiciones expuestas anteriormente por la última relación.

### 5.1.2 UNIDAD Q2

Esta unidad comprende 10,1 m de sección estratigráfica y está delimitada por los marcadores A y B (ANEXO 3). En esta unidad se encuentran dos capas de chert, en la parte media y tope, que al ser analizadas químicamente se determinó que el de la parte media corresponde a una lutita masiva, debido al contenido de SiO<sub>2</sub> (21,2%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13,9%) y K<sub>2</sub>O (0,97%). Los elementos que tienen sus mayores concentraciones en esta unidad son: MgO (5,12%), Co (392 ppm), Pb (79 ppm) y Zn (216 ppm); y los elementos con menores concentraciones son: TiO<sub>2</sub>(0,01), V(20 ppm), Mo (5) (Tablas 5.3 y 5.4). Las variables que la definen son los marcadores de primer orden SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O y TiO<sub>2</sub>; en general, la tendencia de las variables es mantener sus altas concentraciones, exceptuando en la base de esta unidad, donde se presenta una disminución notable en el SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O y TiO<sub>2</sub> (Tabla 5.3 y ANEXO 3), por la cual se definió.

Litológicamente esta unidad se caracteriza por el incremento de la frecuencia de estratos de caliza. Los valores de las variables SiO<sub>2</sub> (1,65-75,7 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,92-22,8 %), K<sub>2</sub>O (0,65-2,61 %), TiO<sub>2</sub> (0,01-1,07 %) y Rb (18-134 ppm), al igual que en la unidad anterior indican que hay un predominio de estratos lutíticos.

El contenido de CaO es mayor que en la unidad Q1, y presenta tres picos importantes a lo largo de la unidad, con valores de 49,8 %, 40,2 % y 45,5 %. El Sr mantiene sus valores constantes a lo largo de la unidad, con valores entre 65 ppm y 90 ppm, exceptuando en la base de la unidad donde presenta un pico notable con un valor de



479 ppm. Tanto el CaO con el Sr revelan el enriquecimiento en material calcáreo, estos valores representan los estratos de caliza en la unidad.

En el Co se observa un aumento considerable de su porcentaje hacia la parte media y superior de la unidad, con valores entre 113 ppm y 392 ppm, lo cual indica presencia de material clástico, lo que limita su uso como un indicador de estado redox.

El Pb y el Rb, presentan un aumento notable en su valor en la parte media (79 ppm y 134 ppm, respectivamente), (ANEXO 4), están asociados a minerales de arcillas (BRICEÑO Y CALLEJÓN, 2000; CEDILLO Y OLAYA, 2003); y el aumento de estos elementos puede indicar el contenido arcilloso en las litologías que se presentan en esta unidad.

El MgO, Zn y el Ni presentan sus mayores valores en esta unidad (5,12%, 216 ppm y 272 ppm, respectivamente), y el V tiene valores similares a los de la unidad anterior, con valores entre 20 ppm y 170 ppm. La presencia de ellos es indicio de mayor contenido de materia orgánica (ALBERDI & TOCCO, 1999, BRICEÑO & CALLEJÓN, 2000).

La relación química  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  mantiene los valores bajos, entre 1,56 ppm y 5,72 ppm (Tabla 5.5 y ANEXO 6). En el caso de la relación  $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{CaO}$  la curva presenta un comportamiento bastante uniforme, destacándose hacia la base y el tope, una disminución en los valores que llegan a 0,094 y 0,056. Lo cual se corresponde con lo observado en la columna litológica.

El cociente  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$  presenta bajos valores, que varían entre 1,41 y 12,2, a lo largo de toda la unidad, y tiene un valor promedio de 8,61 (Tabla 5.5 y ANEXO 6), lo cual representa el contenido de feldespato potásico y/o micas predominante sobre el material arcilloso.



La relación  $TiO_2/Al_2O_3$  al igual que en la unidad anterior tiene valores muy bajos, entre 0,003 y 0,052, lo que puede indicar material detrítico de baja granulometría.

La curva del cociente Ni/Co tiene un comportamiento contrario a la del V/Ni, y aporta la misma información, ya que los valores altos en el Ni/Co indican condiciones de oxidación, y los valores bajos del V/Ni indican las mismas condiciones. Es notable hacia la base, parte media y tope de la unidad un incremento en los valores que llegan a 2,66, 2,81 y 2,24, respectivamente, datos que indican el aumento en el nivel de oxigenación (ANEXO 6).

En esta unidad, al igual que en la anterior el comportamiento de la curva del  $V/(V+Ni)$  es muy similar a la de la relación V/Ni (ANEXO 6), donde se observa en la base y hacia el tope los valores mas bajos (0,08 y 0,16) indicio de condiciones de oxidación, en la parte media se observan dos incrementos notables con valores de 0,53 y 0,45, que representan un ambiente con condiciones disóxicas.

### 5.1.3 UNIDAD Q3

La unidad Q3 es la unidad de mayor espesor, comprendiendo 18,9 m de sección estratigráfica y está delimitada por el marcador C y el tope de la sección. Litológicamente, está representada por una alternancia de lutitas con espesores entre 2,92 m y 3,50 m, y calizas entre 2,18 m y 4,79 m, lo que explica la tendencia de las variables  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , CaO,  $K_2O$  y  $TiO_2$ , quedando bien marcada una litología con respecto a la otra (ANEXO 2).

El CaO (51,9 %), V (347 ppm), Mo (29 ppm) y el Sr (603 ppm) presentan los valores más altos. Al contrario de estos el  $SiO_2$  (0,01 %),  $Al_2O_3$  (0,265 %),  $TiO_2$  (0,01 %),



MgO (1 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01 %), Co (80 ppm), Pb (10 ppm), Rb (10 ppm) y Zr (10 ppm) alcanzan los valores más bajos en esta unidad (Tabla 5.3 y 5.4).

Los valores más elevados en el CaO y el Sr en esta unidad, representan el predominio de capas ricas en material calcáreo (calizas), con un espesor promedio de 2,375m; así como los estratos de lutitas están evidenciados por los valores del SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O (0,581 %), TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pb y el Rb, que representan las litologías de granulometría fina y material arcilloso.

El V tiene sus mayores valores hacia el centro y tope de la unidad, con valores que varían entre 208-444 ppm y 162-270 ppm, respectivamente; este elemento según BRICEÑO & CALLEJÓN (2000) se encuentra asociado al desarrollo de materia orgánica, y según ALBERDI & TOCCO (1999) indica un máximo desarrollo de las condiciones de reducción. El Mo al igual que el V está asociado a materia orgánica (ALBERDI & TOCCO, 1999). Se puede decir que la presencia de estos dos elementos indica tanto preservación de materia orgánica como condiciones de reducción.

Al igual que en las dos unidades anteriores, la relación SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> continúa con un comportamiento similar al de la unidad anterior con valores entre 0,01 y 11,62 (Tabla 5.5 y ANEXO 6). En la relación (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/CaO se observa que la curva mantiene su tendencia a lo largo de la unidad, donde se intercalan grupos con valores entre 0,03-3,94 y 10,9-433,3. Al igual que en la unidad anterior este comportamiento indica la intercalación de calizas y lutitas, con la diferencia de que el espesor de las calizas es mucho mayor que en las unidades anteriores, lo que explica la forma de la curva.

En esta unidad la relación Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ K<sub>2</sub>O tiene el mismo comportamiento que en la unidad anterior, manteniendo los valores entre 0,46 y 11,13, lo que representa el contenido de feldespatos potásicos y/o micas (Tabla 5.5 y ANEXO 6). Lo mismo ocurre con la relación TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que tiene el mismo comportamiento que las



unidades anteriores, con un valores entre 0,003 y 0,051, lo que indica material detrítico de baja granulometría.

En la relación Ni/Co se destaca hacia el tope la zona donde alcanza los valores más altos de toda la sección (3,975), en la cual se encuentran los mayores niveles de oxigenación. En el resto de la unidad se mantienen valores entre 0,24 y 2,13; indicando el valor más bajo la poca presencia de oxígeno (Tabla 5.6 y ANEXO 6).

La relación V/(V+Ni) al igual que en la relación anterior alcanza los valores más altos de toda la sección estratigráfica, ubicados hacia la parte media y el tope de la unidad (0,766 y 0,729, respectivamente), estos valores indican condiciones de anoxia. En la parte basal se encuentran condiciones de disoxia, representada por los valores 0,46 y 0,56. Y en el resto de la unidad se presentan valores entre 0,09 y 0,38 correspondientes a las zonas con condiciones de oxigenación.

**Tabla 5.3** Valores máximos, mínimos y promedios de los Elementos Mayoritarios en %, referidos a toda la sección estudiada.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	V (ppm)	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
------------------	--------------------------------	-----	------------------	------------------	------------	-----	--------------------------------



Unidad Q3	Máximo	<b>78,4</b>	20,2	<b>51,9</b>	2,27	0,967	347	1,83	<b>7,35</b>
	Promedi	55,1	14,5	11,6	1,63	0,540	157,3	1,076	2,30
	Mínim	<b>0,01</b>	<b>0,265</b>	<b>0,212</b>	0,581	<b>0,01</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
Unidad Q2	Máxim	75,7	22,8	49,8	<b>2,61</b>	1,07	170	<b>5,12</b>	<b>6,23</b>
	Promedi	56,5	17,5	7,1	1,98	0,737	84	1,47	4,30
	Mínim	1,65	0,921	0,359	0,652	<b>0,01</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
Unidad Q1	Máxim	74,8	<b>22,9</b>	41,7	2,47	<b>1,09</b>	<b>182</b>	2,41	5,47
	Promedi	61,7	18,5	2,62	2,052	0,838	88,07	1,40	4,22
	Mínim	8,85	1,33	0,387	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	2,08

Menor valor
  Mayor valor

**Tabla 5.4** Valores máximos, mínimos y promedios de los Elementos Traza en ppm, referidos a toda la sección estudiada.

Co	Mo	Ni	Pb	Rb	Sr	Zn	Zr
----	----	----	----	----	----	----	----



Unidad Q3	Máximo	331	<b>29</b>	<b>318</b>	42	97	<b>603</b>	190	126
	Promedio	135	10	136	28	64	162	57	38
	Mínimo	<b>80</b>	<b>5</b>	<b>80</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>59</b>	<b>20</b>	<b>10</b>
Unidad Q2	Máximo	<b>392</b>	9	272	<b>79</b>	134	479	<b>216</b>	<b>429</b>
	Promedio	168	7	189	45	93	129	61	148
	Mínimo	<b>80</b>	<b>5</b>	<b>80</b>	<b>10</b>	18	65	<b>20</b>	<b>10</b>
Unidad Q1	Máximo	197	11	177	55	<b>119</b>	89	52	266
	Promedio	154	9	121	48	100	79	41	177
	Mínimo	<b>80</b>	7	<b>80</b>	38	74	74	34	104

 Menor valor     
  Mayor valor

**Tabla 5.5** Valores máximos, mínimos y promedios de las Relaciones Químicas con los Elementos Mayoritarios, referidos a toda la sección estudiada.

SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
--	---	--	--



Unidad Q3	Máximo	11.62	<b>433.3</b>	11.13	0.051
	Promedio	3.62	232.9	7.90	0.032
	Mínimo	<b>0.01</b>	<b>0.0</b>	<b>0.46</b>	<b>0.003</b>
Unidad Q2	Máximo	5.72	236.769	14.29	0.052
	Promedio	3.34	106.634	8.61	0.038
	Mínimo	1.56	0.056	1.41	<b>0.003</b>
Unidad Q1	Máximo	<b>48.27</b>	217.3	<b>133.00</b>	<b>0.056</b>
	Promedio	4.86	125.7	13.09	0.043
	Mínimo	2.30	0.3	4.94	<b>0.003</b>

 Menor valor     
  Mayor valor

**Tabla 5.6** Valores máximos, mínimos y promedios de las Relaciones Químicas con los Elementos Traza, referidos a toda la sección estudiada.

V/Ni	Ni/Co	V/(V+Ni)	Zr/Al
------	-------	----------	-------



Unidad Q3	Máximo	<b>3.275</b>	<b>3.975</b>	<b>0.766</b>	79.199
	Promedio	1.357	1.302	0.485	21.480
	Mínimo	<b>0.093</b>	<b>0.242</b>	0.085	<b>2.318</b>
Unidad Q2	Máximo	1.141	2.813	0.533	<b>92.610</b>
	Promedio	0.512	1.460	0.313	30.259
	Mínimo	0.094	0.275	0.086	2.935
Unidad Q1	Máximo	1.050	1.106	0.512	55.214
	Promedio	0.695	0.827	0.402	35.015
	Mínimo	0.418	0.426	<b>0.295</b>	19.944



Menor valor



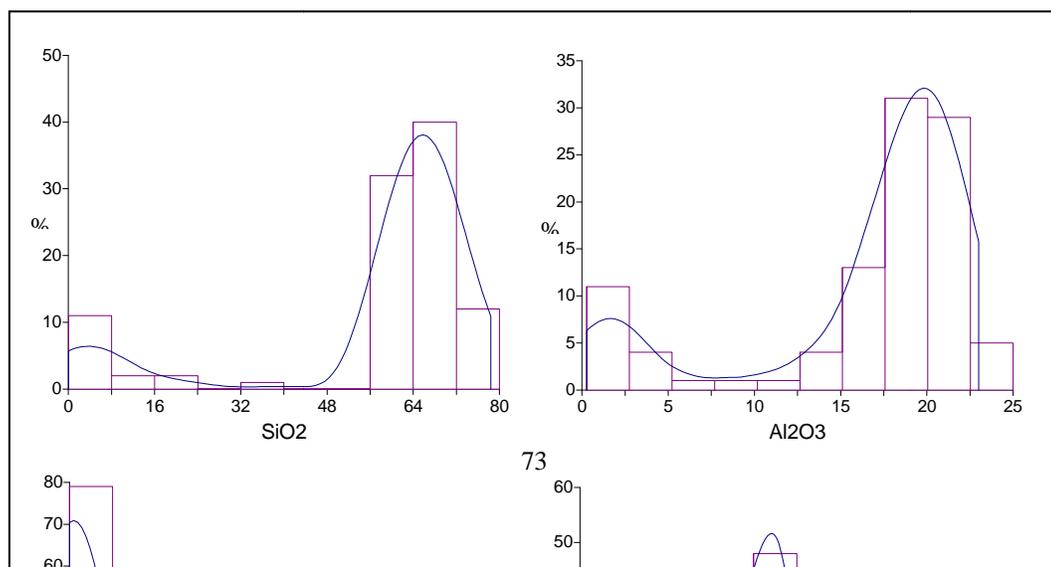
Mayor valor

## 5.2 ANÁLISIS DE LOS HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA

Con el fin de analizar los resultados químicos obtenidos en la sección de La Ortiza, se exponen en la figura 5.2, los histogramas de frecuencia, y en la tabla 5.7 se presentan los tipos de distribución y valores máximos alcanzados por la curva de frecuencia.

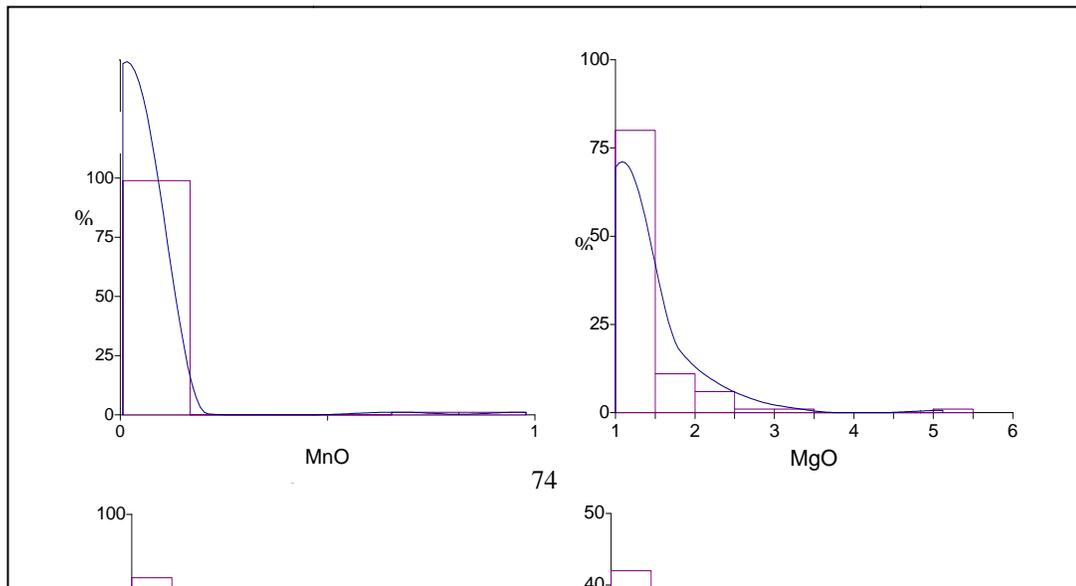


En la tabla 5.7 se presentan los resultados arrojados por los histogramas (Figura 5.2), los cuales indican que el comportamiento tiende a ser mayormente bimodal, aunque en pocos casos son unimodales o multimodales. Según MARTÍNEZ & CAMPOSANO (2000) y GONZÁLEZ & SÁNCHEZ (2001) los casos en que se presenta bimodalidad puede significar la existencia de tipos litológicos diferentes.



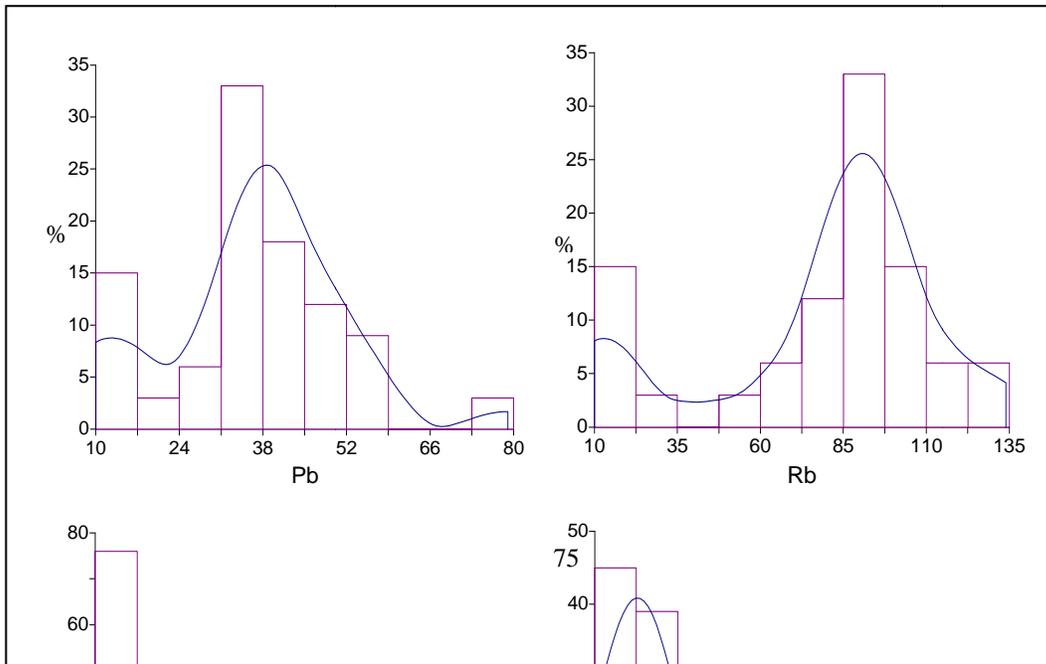


**Figura 5.2** Histogramas de frecuencia químicos de los elementos mayoritarios y traza de la sección La Ortiza. El eje X representa los intervalos de clase en porcentaje para los mayoritarios y en ppm para los traza. El eje Y representa el porcentaje de frecuencia de cada elemento, ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en %;  $\text{Co}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Zr}$  en ppm).





**Figura 5.2** Continuación





**Figura 5.2** Continuación

**Tabla 5.7** Tipos de distribución y valores máximos alcanzados por los polígonos de frecuencia en los histogramas de frecuencia

SiO <sub>2</sub>	Bimodal Máximo(1): 4,35% Máximo(2): 65,7%	Co	Multimodal Máximo(1): 103 ppm Máximo(2): 185 ppm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bimodal Máximo(1): 1,33% Máximo(2): 19,7%	Mo	Multimodal Máximo(1): 7 ppm Máximo(2): 22 ppm



CaO	Bimodal Máximo(1): 0,244 Máximo(2): 49,8%	Ni	Multimodal Máximo(1): 91 ppm Máximo(2): 141 ppm
K <sub>2</sub> O	Bimodal Máximo(1): 0,715 Máximo(2): 2,4%	Pb	Bimodal Máximo(1): 16 ppm Máximo(2): 38 ppm
TiO <sub>2</sub>	Bimodal Máximo(1): 0,01% Máximo(2): 0,95%	Rb	Bimodal Máximo(1): 11 ppm Máximo(2): 91 ppm
V	Bimodal Máximo(1): 64ppm Máximo(2): 122 p	Sr	Bimodal Máximo(1): 89 ppm Máximo(2): 223 ppm
MnO	Unimodal Máximo(1): 0,01%	Zn	Bimodal Máximo(1): 41 ppm Máximo(2): 190 ppm
MgO	Bimodal Máximo(1): 1,2% Máximo(2): 5,12%	Zr	Bimodal Máximo(1): 33 ppm Máximo(2): 250 ppm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Unimodal Máximo(1): 3,5%		

En el SiO<sub>2</sub> se observa que la mayor frecuencia de muestras presentan concentraciones de 65,7%, pudiendo corresponder a las lutitas, mientras que el grupo de muestras que corresponde a concentraciones de 4,35%, pueden relacionarse con las calizas.

El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presenta el valor 19,7% con mayor frecuencia, la cual esta asociada a la presencia de minerales de arcilla (NOGUERA & YEPEZ, 2002), lo que puede indicar que este valor corresponde al grupo de lutitas presentes en la sección. El máximo que



le sigue a este valor es el de 1,33%, lo que puede representar a aquellas calizas pobres en minerales de arcilla.

El CaO se presenta en la sección de forma opuesta al SiO<sub>2</sub>, teniendo con mayor frecuencia concentraciones de 49,8%, lo que evidencia la presencia de especies carbonáticas, representadas por las calizas. La concentración de 0,244% se presenta en el 70% de las muestras, y pertenece a las lutitas que se encuentran a lo largo de la sección.

El K<sub>2</sub>O tiene concentraciones entre 0,01 y 2,61; con las mayores frecuencias en los valores 0,715 y 2,14; el primero corresponde a las calizas, y el segundo a las lutitas. Este elemento está asociado a los minerales de arcillas y a especies clásticas (CEDILLO & OLAYA, 2003; BARITTO, 2003).

El TiO<sub>2</sub> al igual que el K<sub>2</sub>O está asociado a los minerales de arcillas y a especies clásticas (BRICEÑO & CALLEJÓN, 2000; CEDILLO & OLAYA, 2003; BARITTO, 2003). En la sección las concentraciones que se presentan con más frecuencia son 0,01% y 0,95%, las cuales pueden corresponder a las calizas y lutitas, respectivamente.

El V se encuentra asociado a materia orgánica, y en los ambientes marinos tiende a ser más abundante en zonas distales o profundas (BRICEÑO & CALLEJÓN, 2000, BRICEÑO *et al.* 1996), este a su vez se presenta con mayor concentración en las lutitas, siendo las más frecuente de 64 ppm y 122 ppm. En gran parte de las calizas este elemento se encuentra cerca de su límite de detección.

El MnO a lo largo de la sección se mantiene en valores cercanos al límite de detección, por ende no posee un alto rango de confiabilidad.



En el caso del MgO muestra una mayor frecuencia bajo concentraciones de 1,2% en un porcentaje de muestras cercano a 75%, un segundo máximo de 5,2%. Estos valores pueden indicar la ausencia o escasez de minerales como calcita alta en magnesio o montmorillonita (NOGUERA & YÉPEZ, 2002), este compuesto también se relaciona con asociaciones orgánicas (CEDILLO & OLAYA, 2003).

El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , presenta un máximo de 3,5% en un porcentaje de muestra cercano al 60%. Este compuesto está relacionado con asociaciones arcillosas (CEDILLO Y OLAYA, 2003) e indica un aporte terrígeno.

Los elementos traza reportados para esta sección de estudio, se caracterizan por ser multimodales, indicando diferentes niveles de oxidación- reducción. En el caso del Ni, al igual que el V, MgO y Mo, está relacionado con asociaciones orgánicas (CEDILLO Y OLAYA, 2003). En la sección la distribución que presenta este elemento es multimodal, con valores de 91 ppm, 141 ppm y 199 ppm.

El Mo también con una distribución multimodal, presenta máximos de: 7 ppm, 22 ppm y 29 ppm. Los valores de este elemento pueden indicar condiciones anóxicas y materia orgánica (EMERSON Y HUESTED, 1991; citado en ALBERDI & TOCCO, 1999)

El Pb tiene distribución multimodal, con valores máximos de 16 ppm, 38 ppm y 79 ppm. Esto está asociado a los minerales arcillosos (CEDILLO Y OLAYA, 2003).

A diferencia de los elementos traza anteriores, el Rb tiene una distribución bimodal, con máximos de 11 ppm y 91 ppm, el primero de ellos se encuentra relacionado con las calizas y el segundo con las lutitas. En el Zn, la mayor frecuencia se ubica bajo las concentraciones 41 ppm y 190 ppm, y se encuentra relacionado a asociaciones orgánicas (BRICEÑO & CALLEJÓN, 2000). El Zr tiene una distribución multimodal, los tres máximos que presenta son: 33 ppm, 250 ppm y 429 ppm. Estos tres elementos



indican la presencia de asociaciones siliciclásticas (CEDILLO Y OLAYA, 2003; BARITTO, 2003).

El Sr está generalmente asociado a los carbonatos (BRICEÑO & CALLEJÓN, 2000; BARITTO, 2003). En la sección este elemento presenta una distribución bimodal, cuyos máximos 89 ppm y 223 ppm, el primero de ellos puede representar la presencia de lutitas carbonáticas y el segundo las calizas.

### **5.3 ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS DE CAJA**

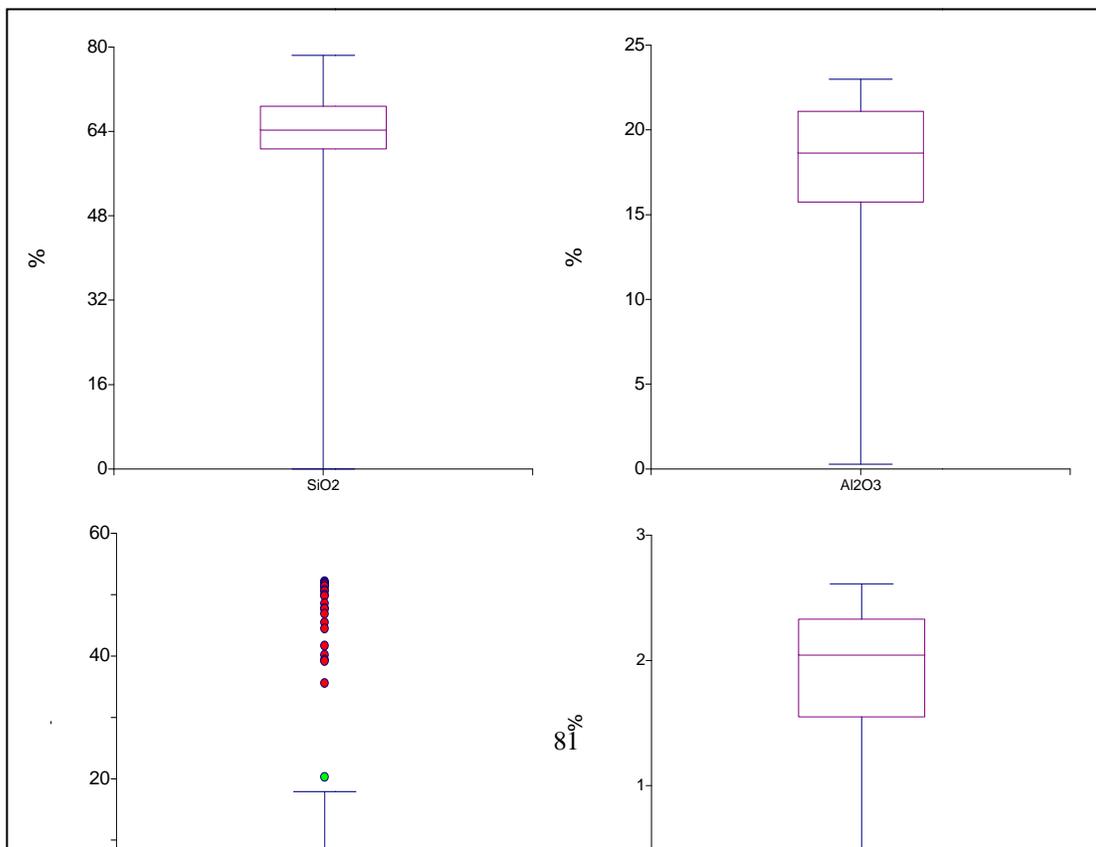
Cuando un grupo de datos es analizado existe la necesidad de conocer el centro y dispersión de los valores con respecto al valor central, así como la existencia de valores extremos (conocidos como anómalos). Los diagramas de cajas son utilizados para examinar la distribución de una variable, su centro, su dispersión y sus anómalos.

Estos diagramas están representados por un rectángulo, con líneas y puntos, donde el fondo y tope del mismo representan los percentiles 25 y 75, respectivamente, y la



mediana o percentil 50 corresponde a una línea dentro de la caja, el ancho del rectángulo es arbitrario mientras que el alto corresponde al rango intercuartil. El valor adyacente superior es la mayor observación, que es menor o igual que el percentil 75 más 1,5 veces el rango intercuartil; el valor adyacente inferior es la observación más pequeña, que es mayor o igual al percentil 25, menos 1,5 veces el rango intercuartil. Estos valores adyacentes están representados como líneas en forma de T que se extienden desde cada límite de la caja.

Los resultados obtenidos mediante los diagramas de caja químicos de los elementos mayoritarios y traza de la sección La Ortiza (Figura 5.3), para la sección de estudio se presentan en la tabla 5.8, y seguidamente se presentan los diagramas de caja químicos de elementos mayoritarios y traza por unidad (Figura 5.5).



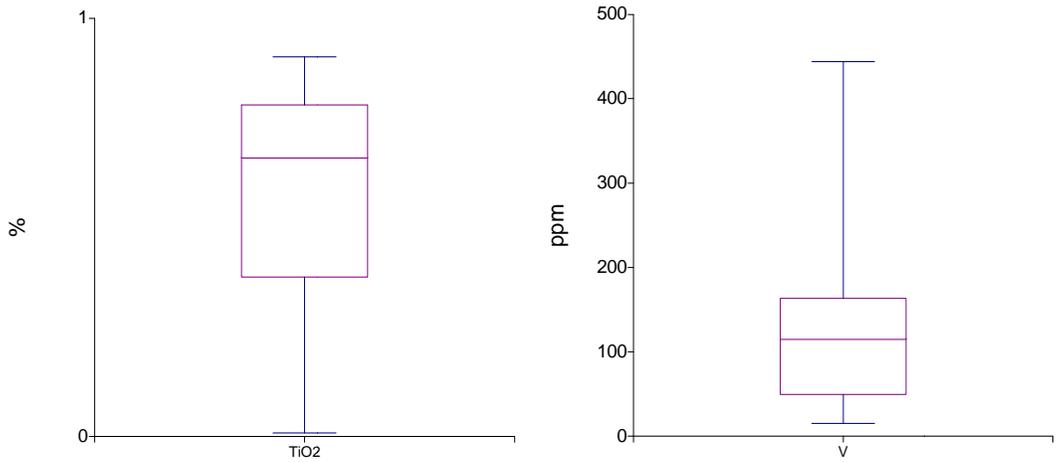
%



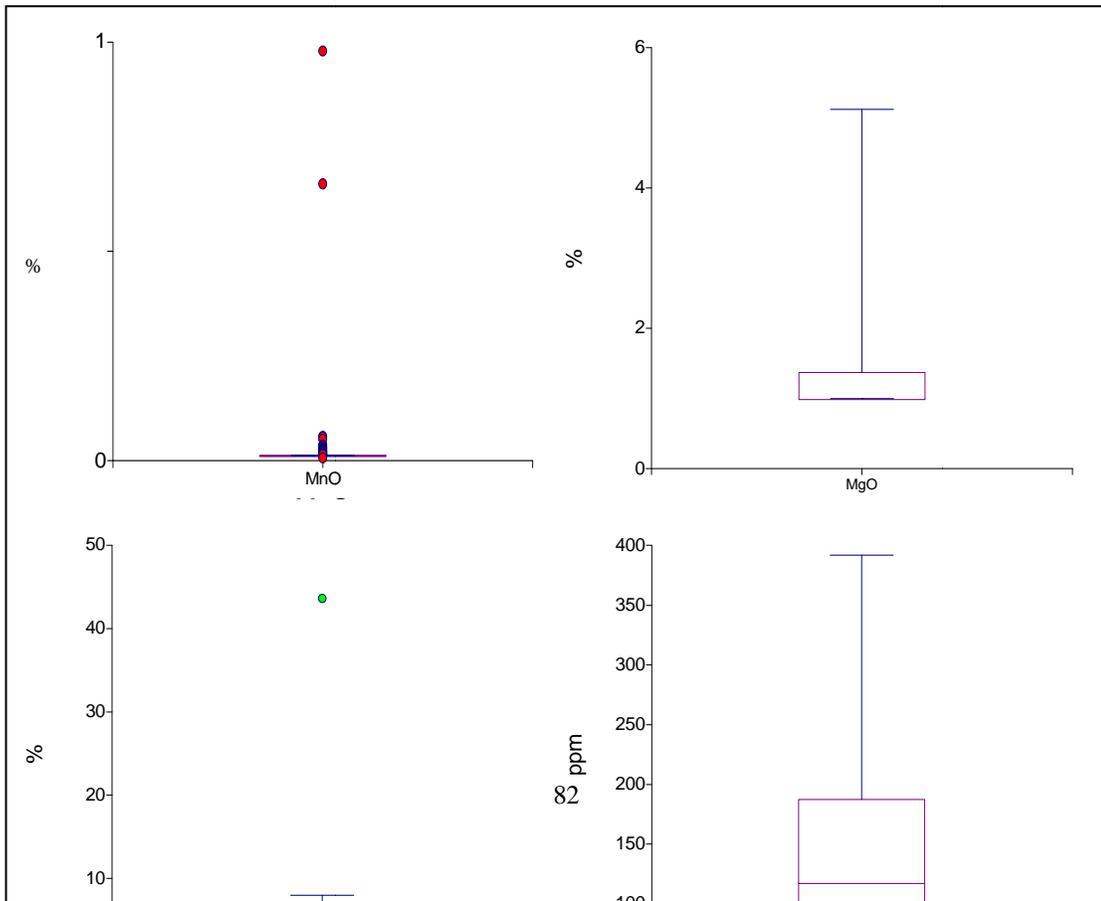
CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y BIOESTRATIGRÁFICA DEL LÍMITE CENOMANIENSE -  
TURONIENSE DE LA FORMACIÓN LA LUNA, QUEBRADA LA ORTIZA, ESTADO TÁCHIRA

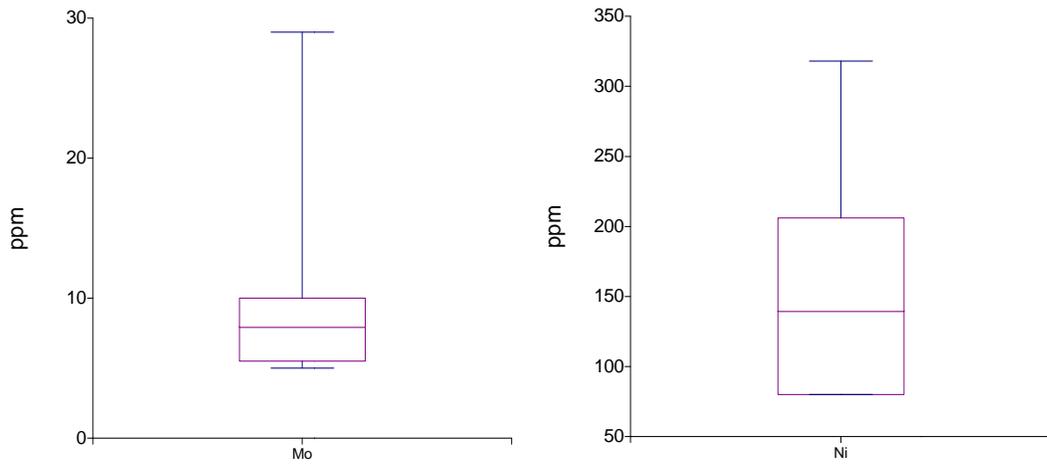


%

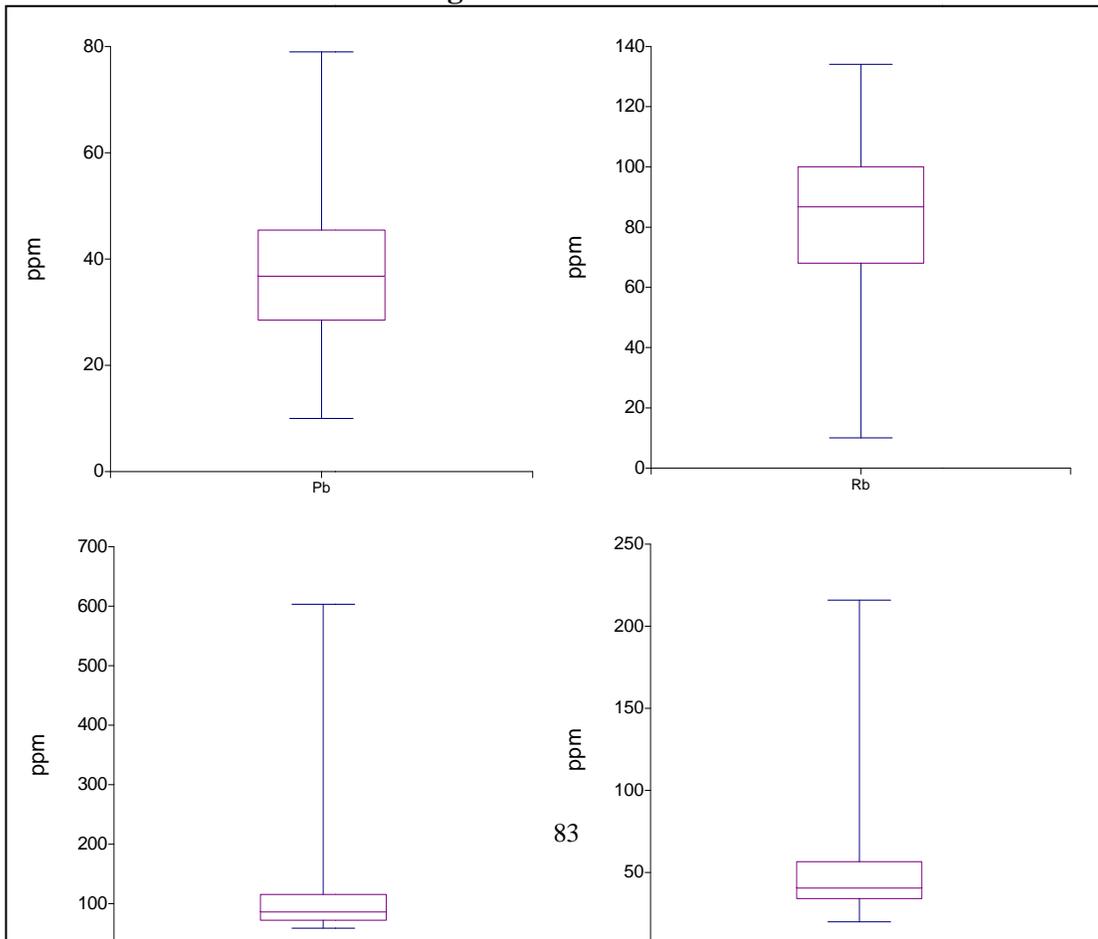


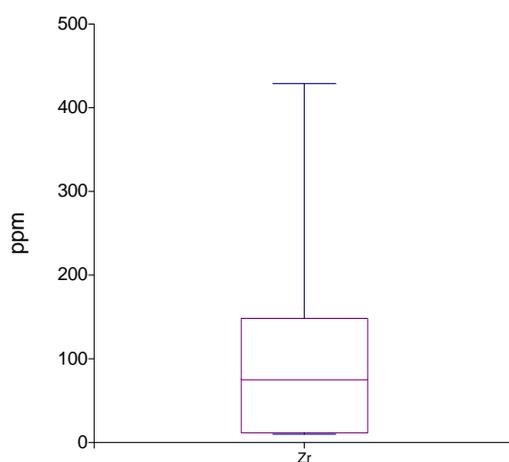
**Figura 5.3** Diagramas de caja químicos de elementos mayoritarios y traza de la sección La Ortiza.





**Figura 5.3** Continuación





**Figura 5.3** Continuación

**Tabla 5.8** Cuadro descriptivo de los diagramas de caja químicos de la sección La Ortiza

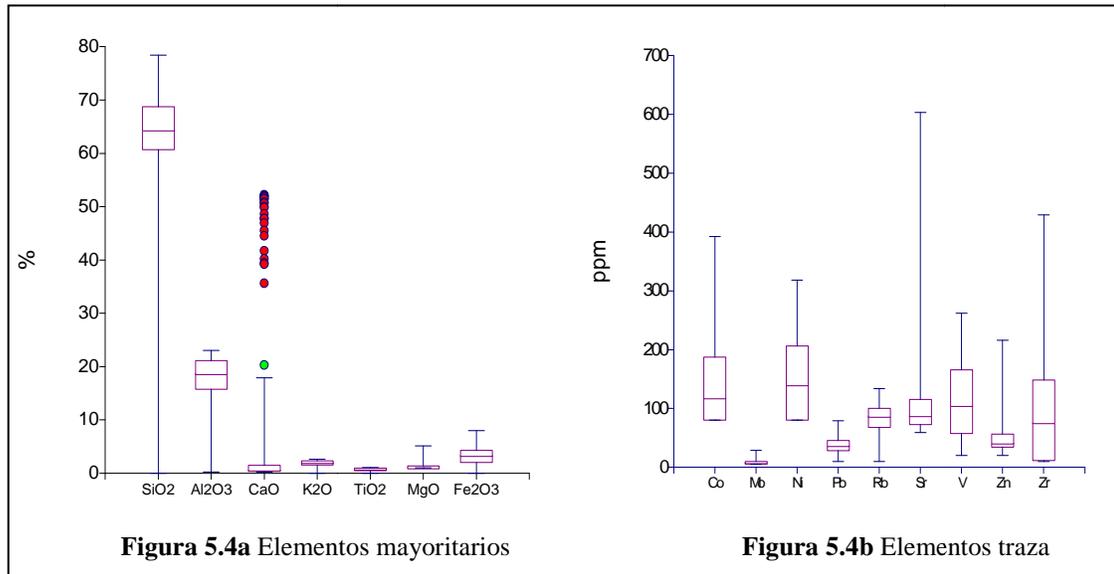
	<b>Sección La Ortiza</b>
SiO <sub>2</sub>	La mediana presenta un valor de 64% y una dispersión alta con respecto al resto de los elementos mayoritarios (Figura 5.4a), observándose que el mínimo valor en porcentaje está en muy pocas muestras o en ninguna.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	El aluminio tiene una mediana de 18% con una dispersión media a lo largo de la sección, presentando su mínimo valor en pocas muestras.
CaO	Presenta muy poca dispersión, observándose puntos que se encuentran por encima del valor adyacente y corresponden a valores anómalos, de los cuales se tienen de dos tipos: 1) valores anómalos fuertes (puntos rojos), 2) valores anómalos suaves (puntos verdes).
K <sub>2</sub> O	La mediana está representada por un valor de 2,1% y una dispersión baja a lo largo de la sección, observándose que su valor mínimo está presente en pocas muestras.
TiO <sub>2</sub>	La mediana tiene un valor de 0,7% y presenta una dispersión muy baja comparada con la del resto de los elementos mayoritarios
V	El valor de la mediana es de 110 ppm y la dispersión es media, muy



	parecida a la del $\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{K}_2\text{O}$
MnO	Los escasos valores registrados de este componente son anómalos de tipo fuerte.
MgO	No presenta mediana, su valor mínimo está en un poco más del 25% de las muestras estudiadas y su dispersión es muy baja.
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	La dispersión es poca, la mediana es de 3% y presenta valores anómalos suaves.
Co	El valor adyacente inferior coincide con el percentil 25, presenta una mediana de 120 ppm y una dispersión notable en comparación a los compuestos anteriores.
Mo	Presenta una mediana de 7 ppm, su valor adyacente inferior se acerca al percentil 25 y su dispersión es la más baja en comparación al resto de los elementos traza (Figura 5.4b).
Ni	La dispersión es bastante alta con respecto a la del Co y el valor adyacente inferior coincide con el percentil 25, presentando una mediana de 140 ppm.
Pb	El valor de la mediana es de 38 ppm, presentando una dispersión baja y un valor adyacente superior bastante alejado del percentil 75.
Rb	El valor adyacente inferior se encuentra en poco porcentaje de muestras, la mediana es de 85 ppm y presenta poca dispersión.

**Tabla 5.8** Continuación

Sr	Presenta una dispersión media y más alta que la del Mo, Pb y Rb (Figura 5.4b), el valor de la mediana es de 85 ppm y el valor adyacente inferior se acerca al percentil 25.
Zn	La mediana es de 38 ppm con una dispersión menor a la del Sr y un valor adyacente superior en un gran porcentaje de muestras.
Zr	Presenta una alta dispersión con respecto al resto de los elementos traza (Figura 5.4b), con una mediana de 70 ppm y un valor adyacente inferior cerca del percentil 25.



**Figura 5.4** Diagramas de caja generales de la sección de estudio

En la figura 5.4a se observa que la dispersión en la mayoría de los componentes, es baja, teniéndose la mayor dispersión en el SiO<sub>2</sub>. En cuanto al CaO es importante destacar que presenta valores anómalos, que en este caso están por encima del valor adyacente y de los cuales se tienen dos tipos: 1) valores anómalos fuertes que van más allá del rango intercuartil (puntos rojos) y 2) valores anómalos suaves que pueden estar por debajo o por arriba de tres veces el rango intercuartil a partir de los percentiles 25 y 75, respectivamente. Por como se observa la forma del diagrama del CaO, se interpreta que puede estar correspondiendo a dos litologías diferentes, teniéndose para los valores más altos una litología carbonática y para los valores más bajos una litología lutítica.

Con respecto a los elementos traza, se observa que la dispersión es más alta (Figura 5.4b), haciéndose más notable en el Co, Ni y Zr.



Los diagramas de caja por unidad (Figura 5.5), sirven para reconocer los elementos traza y mayoritarios característicos de cada una de ellas, así como su variación en orden estratigráfico.

En la unidad química UQ1 los marcadores son el CaO que tiene la menor concentración, y el TiO<sub>2</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que presentan la mayor concentración. Los elementos traza marcadores de ésta son el Pb, Rb y Zr, que tienen mayor concentración.

La unidad química UQ2 se caracteriza por poseer la mayor cantidad de valores anómalos de CaO, y el K<sub>2</sub>O es el elemento con mayor dispersión. Los elementos traza marcadores de esta unidad son el Mo y el V, que presentan las menores concentraciones, y el Co, Ni y Zn que tienen los valores más altos.

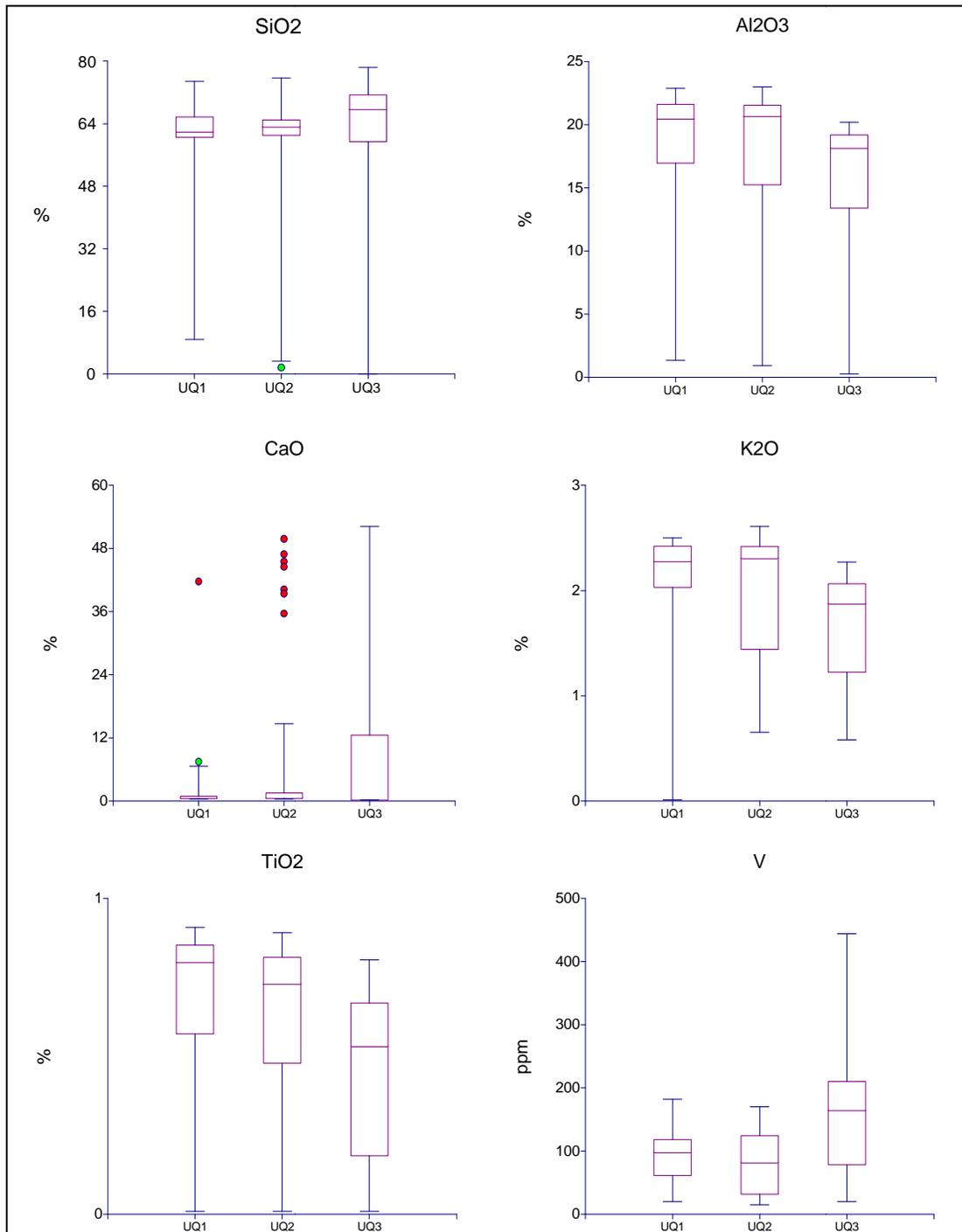
En la unidad química UQ3 los marcadores de los elementos mayoritarios son el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MgO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, que presentan las menores concentraciones; y los que presentan mayores concentraciones son SiO<sub>2</sub> y CaO. Los marcadores de los elementos traza son Pb, Rb y Zr que tienen las menores concentraciones, con las mayores concentraciones de Mo, Sr y V

Los elementos mayoritarios tienen un comportamiento muy similar en la unidad química UQ1 y UQ2, por el contrario la UQ3 se comporta completamente diferente a las dos anteriores. Los elementos traza a diferencia de los mayoritarios no presentan similitudes en su comportamiento, cada unidad se presenta de manera diferente.

En los elementos mayoritarios la variación de los percentiles y medianas nos indica que de base a tope (UQ1 →UQ3) hay un aumento del SiO<sub>2</sub> y del CaO, y una disminución de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MgO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. En los elementos traza esta



variación de base a tope muestra que hay un aumento en el Sr, V, Mo, , y una disminución en Co, Ni, Pb, Rb y Zr.



**Figura 5.5** Diagramas de caja químicos de elementos mayoritarios y traza por unidad de la sección La Ortiza

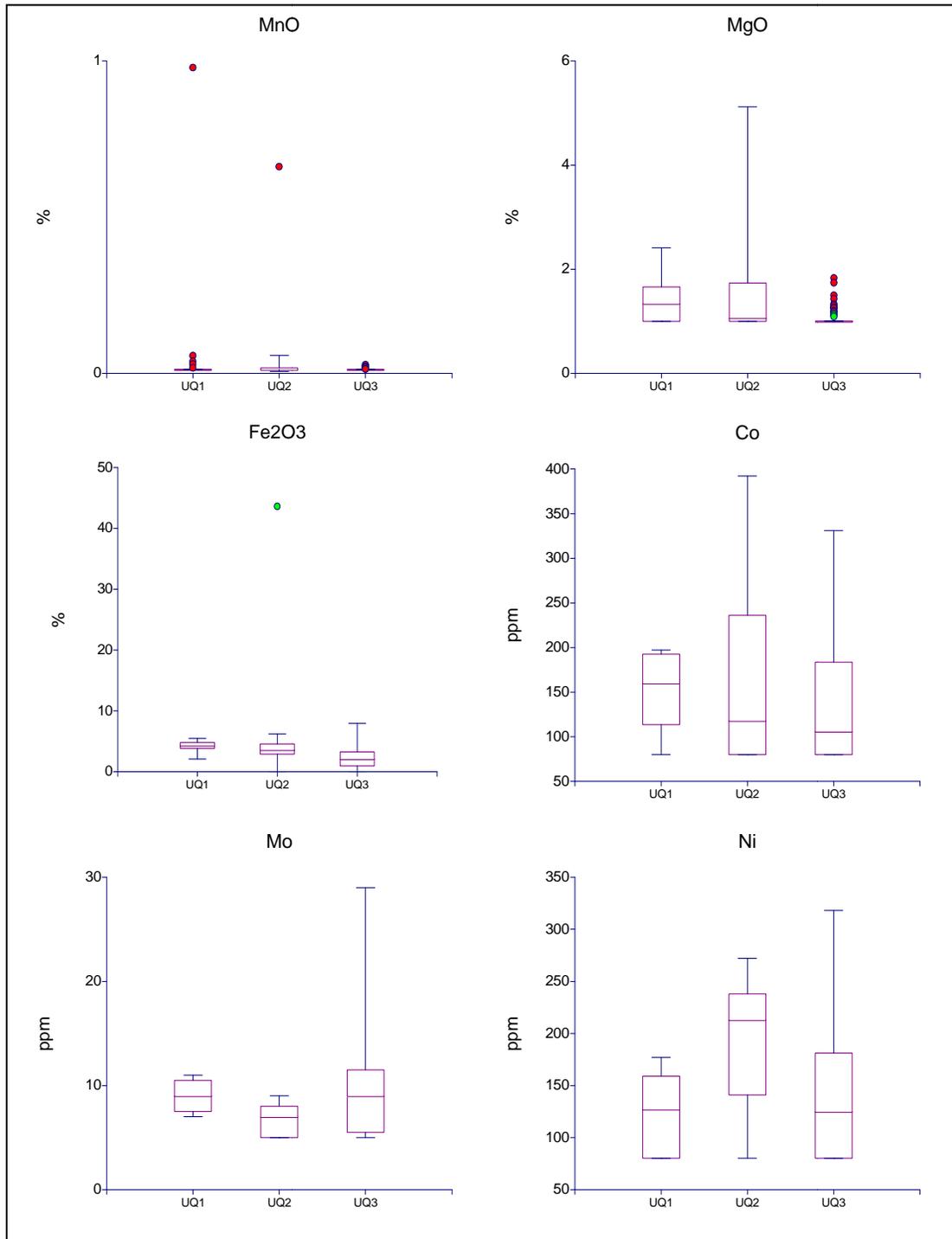
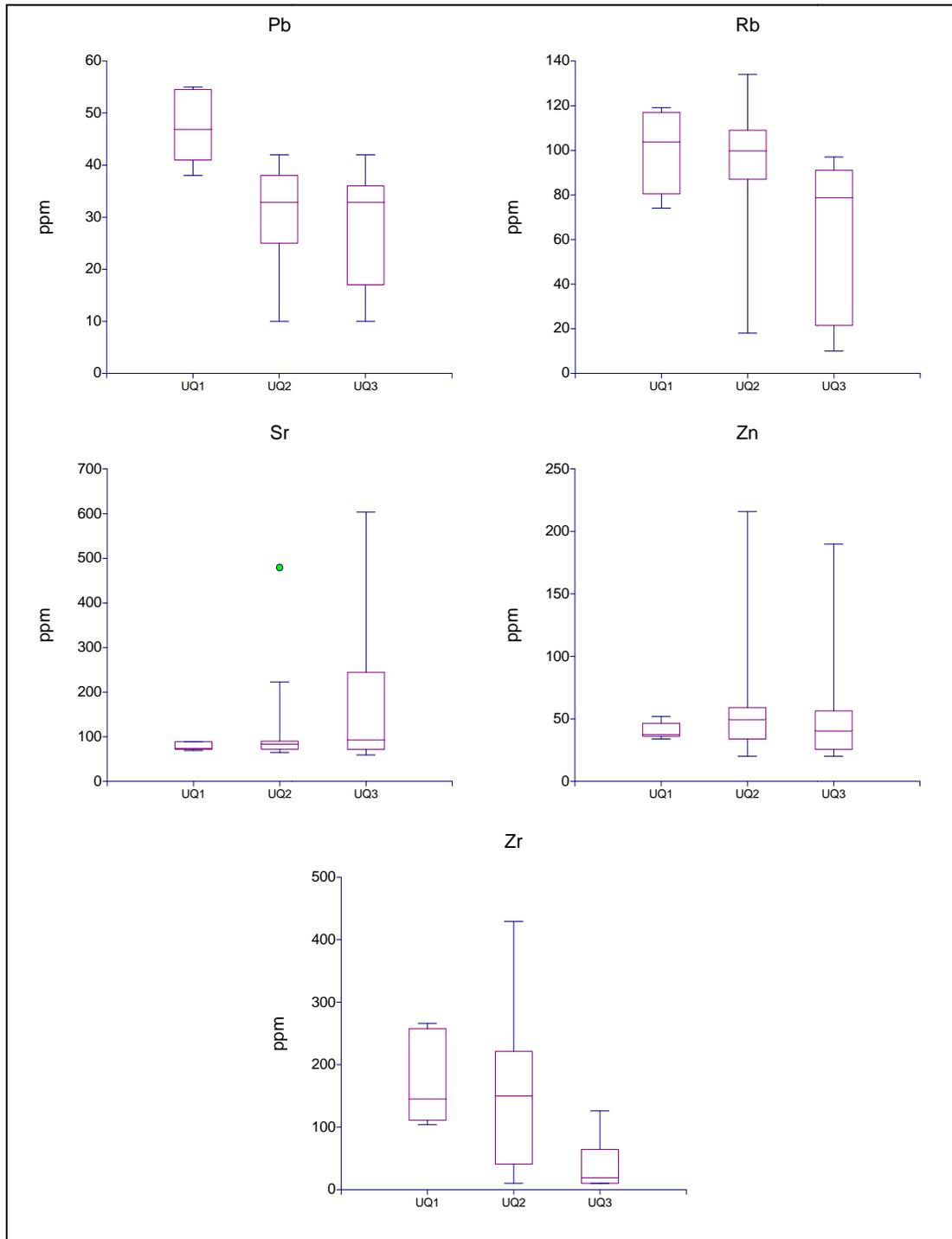


Figura 5.5 Continuación



**Figura 5.5** Continuación

## 5.4 ANÁLISIS POR FUNCIONES DISCRIMINANTES

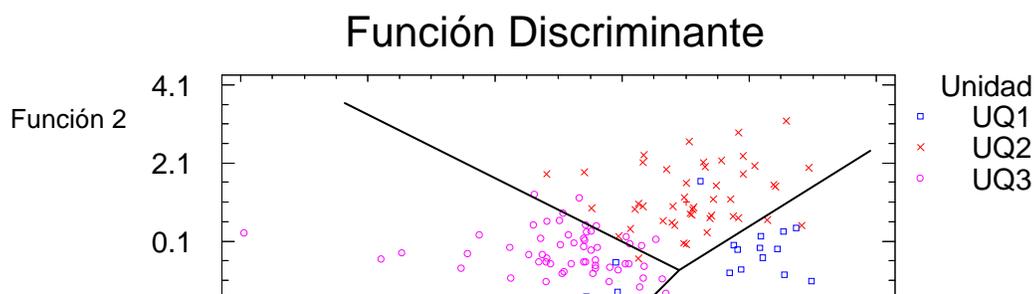


El análisis discriminante es una técnica estadística que se puede utilizar como una forma de cuantificar el grado de relación lineal existente entre variables, y arroja el coeficiente de correlación que indica que tanto están relacionadas entre si. Los resultados obtenidos anteriormente en los análisis estadísticos (histogramas y diagramas de caja) y en los perfiles, muestran que la sección de La Ortiza puede ser dividida en tres unidades químicas, y para corroborar esta información se realizaron tres funciones cuyos factores discriminantes fueron las unidades y condiciones químicas y los tipos litológicos, a partir de las variables de los elementos traza y mayoritarios.

#### 5.4.1 FUNCIÓN DISCRIMINANTE POR UNIDAD

Se utilizó el total de muestras (138), para determinar las funciones discriminantes de las variables químicas (elementos mayoritarios y traza), con el fin de establecer la mayor dispersión entre las distintas unidades químicas definidas anteriormente.

La separación grupal que se aprecia en la figura de dispersión 5.6 se debe a que el programa al evaluar cada una de las muestras con las condiciones establecidas para cada unidad, generó tres grupos con características químicas y litológicas diferentes entre sí, y que a su vez coinciden con las unidades químicas definidas anteriormente con los otros métodos. Estos tres grupos se separaron por rectas, y cada uno representa una unidad química, el grupo superior corresponde a la UQ2, el de la derecha a la UQ1 y el de la izquierda a la UQ3.





### Figura 5.6 Función discriminante por unidad química

La tabla 5.9 refleja los porcentajes que abarcan cada nivel de confiabilidad por unidad química. Se observa que para la unidad química UQ1 el porcentaje de confiabilidad es de 83,33%, para la unidad química UQ2 es 84%, y para la unidad química UQ3 93,44%. De acuerdo a las unidades definidas, se observa que hay un 87,94% de muestras correctamente clasificadas. En esta tabla se aprecia que de las 30 muestras identificadas en la unidad química UQ1, cinco (5) de ellas fueron clasificadas como pertenecientes a las otras dos unidades. En la unidad química UQ2 se observa que de las 50 muestras, ocho (8) fueron clasificadas como pertenecientes a las otras dos unidades. Y en la unidad química UQ3 de las 61 muestras, cuatro (4) fueron clasificadas como pertenecientes a las otras dos unidades. La razón de esta diferencia puede deberse a similitudes litológicas entre estas muestras y las que se establecieron pertenecientes a las otras unidades.

**Tabla 5.9** Clasificación por Funciones Discriminantes

Unidad Actual	Tamaño de Grupo	Unidad Pronosticada		
		UQ1	UQ2	UQ3



Unidad Q1	30	25	3	2
		(83.33%)	(10.00%)	(6.67%)
Unidad Q2	50	1	42	7
		(2.00%)	(84.00%)	(14.00%)
Unidad Q3	61	3	1	57
		(4.92%)	(1.64%)	(93.44%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: **87.94%**

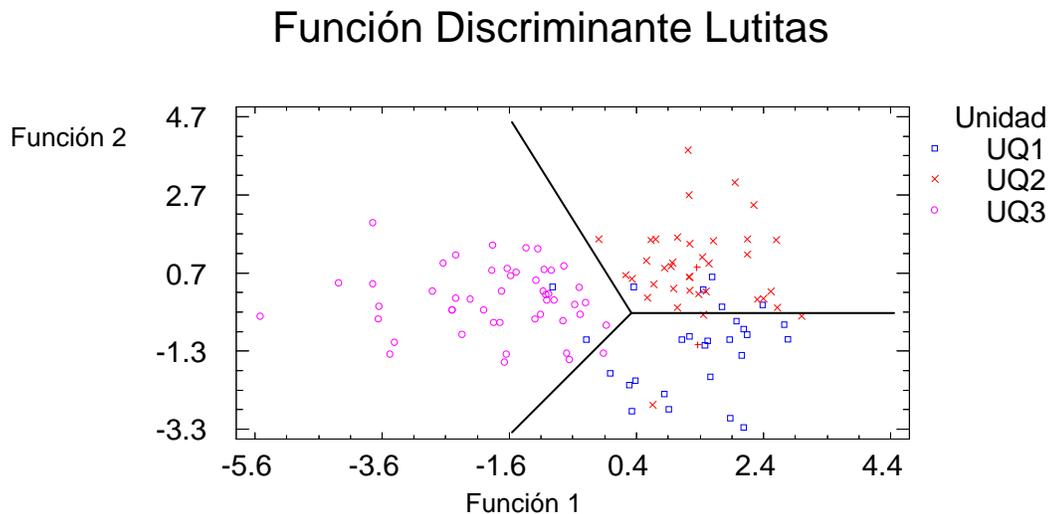
La función discriminante correspondiente a cada unidad se genera multiplicando los coeficientes generados por el programa STATGRAPHICS Plus 5.1, por la respectiva concentración de la variable química y realizando la suma algebraica de estos productos con el valor de la constante, obteniéndose de esta manera las siguientes ecuaciones de las funciones discriminantes:

Función 1:  $-1281,31 - 2,1428*Al_2O_3 + 46,1317*CaO + 0,161529*Co + 28,2295*Fe_2O_3 + 165,646*K_2O + 77,8829*MgO + 415,715*MnO - 3,42341*Mo + 0,0564374*Ni + 0,801127*Pb + 0,129213*Rb + 25,905*SiO_2 - 0,0845893*Sr + 335,755*TiO_2 + 0,305912*V_{ppm} - 0,269435*Zn - 0,122987*Zr$

Función 2:  $-1,06252*Al_2O_3 + 3,16888*CaO - 0,134063*Co + 0,219107*Fe_2O_3 + 2,48363*K_2O + 0,852347*MgO + 0,441597*MnO - 0,358745*Mo + 0,383802*Ni + 0,750307*Pb - 0,56541*Rb + 2,71258*SiO_2 - 0,257667*Sr - 0,0604144*TiO_2 - 0,739883*V_{ppm} - 0,0102972*Zn + 0,215716*Zr$

#### **5.4.2 FUNCIÓN DISCRIMINANTE REALIZADA PARA LAS LUTITAS**

Por los resultados obtenidos en el gráfico de dispersión anterior, se realizó una nueva función discriminante para un sólo tipo litológico, y así conocer si la distribución de los grupos es según sus condiciones químicas.



**Figura 5.7** Función Discriminante aplicada en las lutitas

Para esta función sólo se utilizaron los valores de las muestras de lutitas, se aprecia en los resultados obtenidos en la figura 5.7, que las lutitas se encuentran divididas según sus condiciones químicas, en tres grupos que coinciden con las unidades definidas.

En la tabla 5.10 se observa que para la unidad química UQ1 el porcentaje de confiabilidad es de 82,14%, para la unidad química UQ2 es 86,49%, y para la unidad química UQ3 es 95,92%. De acuerdo a las unidades definidas, se observa que hay un 89,47% de muestras correctamente clasificadas. En esta tabla se aprecia que de las 28 muestras identificadas en la unidad química UQ1, cinco (5) de ellas fueron clasificadas como pertenecientes a las otras dos unidades. En la unidad química UQ2 se observa que de las 37 muestras, cinco (5) fueron clasificadas como pertenecientes a las otras dos unidades. Y en la unidad química UQ3 de las 49 muestras, dos (2)



fueron clasificadas como pertenecientes a las otras dos unidades. Al igual que en el caso anterior, la razón de esta diferencia puede deberse a similitudes litológicas entre estas muestras y las que se establecieron pertenecientes a las otras unidades.

**Tabla 5.10** Clasificación por Funciones Discriminantes Lutitas

Unidad Actual	Tamaño de Grupo	Unidad Pronosticada		
		UQ1	UQ2	UQ3
Unidad Q1	28	23	4	1
		(82.14%)	(14.29%)	(3.57%)
Unidad Q2	37	5	32	0
		(13.51%)	(86.49%)	(0.00%)
Unidad Q3	49	2	0	47
		(4.08%)	(0.00%)	(95.92%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: **89.47%**

La función discriminante correspondiente a cada unidad se genera multiplicando los coeficientes generados por el programa STATGRAPHICS Plus 5.1, por la respectiva concentración de la variable química y realizando la suma algebraica de estos productos con el valor de la constante, obteniéndose de esta manera las siguientes ecuaciones de las funciones discriminantes:

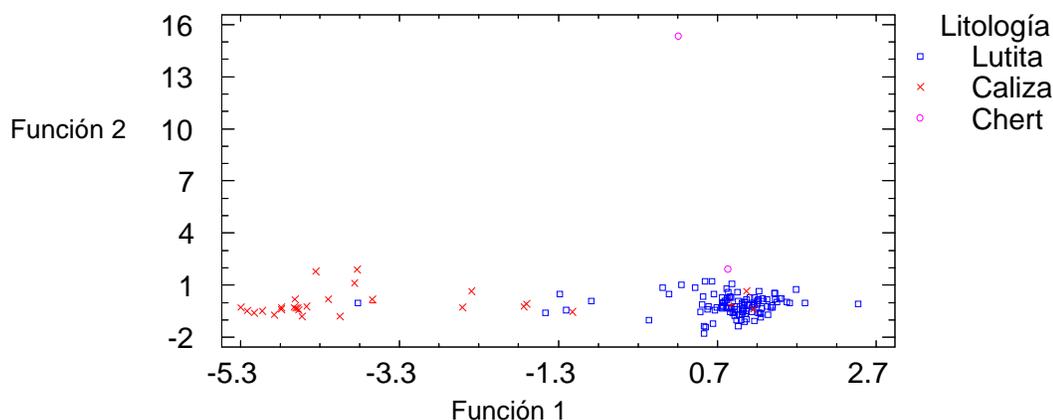
$$\begin{aligned} \text{Función 1: } & -1281,31 + 25,905*\text{SiO}_2 - 2,1428*\text{Al}_2\text{O}_3 + 46,1317*\text{CaO} + \\ & 165,646*\text{K}_2\text{O} + 335,755*\text{TiO}_2 + 0,305912*\text{V}_{\text{ ppm}} + 415,715*\text{MnO} + \\ & 77,8829*\text{MgO} + 28,2295*\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,161529*\text{Co} - 3,42341*\text{Mo} + 0,0564374*\text{Ni} + \\ & 0,801127*\text{Pb} + 0,129213*\text{Rb} - 0,0845893*\text{Sr} - 0,269435*\text{Zn} - 0,122987*\text{Zr} \end{aligned}$$

$$\text{Función 2: } 2,71258 * \text{SiO}_2 - 1,06252 * \text{Al}_2\text{O}_3 + 3,16888 * \text{CaO} + 2,48363 * \text{K}_2\text{O} - 0,0604144 * \text{TiO}_2 - 0,739883 * \text{V}_{\text{ppm}} + 0,441597 * \text{MnO} + 0,852347 * \text{MgO} + 0,219107 * \text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,134063 * \text{Co} - 0,358745 * \text{Mo} + 0,383802 * \text{Ni} + 0,750307 * \text{Pb} - 0,56541 * \text{Rb} - 0,257667 * \text{Sr} - 0,0102972 * \text{Zn} + 0,215716 * \text{Zr}$$

### 5.4.3 FUNCIÓN DISCRIMINANTE POR LITOLOGÍA

En la función discriminante por litología se observa que los grupos litológicos se encuentran alineados, esto se debe a que la función 2 no logra definir dispersión significativa, siendo la dispersión observada generada por la función 1.

#### Función Discriminante por Litología



**Figura 5.8** Función discriminante por litología

En la tabla 5.11 se observa que para la unidad química UQ1 el porcentaje de confiabilidad es de 98,21%, para la unidad química UQ2 es 88,89%, y para la unidad química UQ3 50%. De acuerdo a las unidades definidas, se observa que hay un 95,74% de muestras correctamente clasificadas. En esta tabla se aprecia que de las 112 muestras identificadas en la unidad química UQ1, dos (2) de ellas fueron



clasificadas como pertenecientes a las otras dos unidades. En la unidad química UQ2 se observa que de las 27 muestras, tres (3) fueron clasificadas como pertenecientes a las otras dos unidades. Y en la unidad química UQ3 de las 2 muestras, dos (1) fueron clasificadas como pertenecientes a las otras dos unidades. Al igual que los casos anteriores, la razón de esta diferencia puede deberse a similitudes litológicas entre estas muestras y las que se establecieron pertenecientes a las otras unidades.

**Tabla 5.11** Clasificación por Funciones Discriminantes por Litologías

Litología	Tamaño de Grupo	Litología Pronosticada		
		Lutitas	Caliza	Chert
Lutitas	112	110	2	0
		(98.21%)	(1.79%)	(0.00%)
Caliza	27	3	24	0
		(11.11%)	(88.89%)	(0.00%)
Chert	2	1	0	1
		(50.00%)	(0.00%)	(50.00%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: **95.74%**

La función discriminante correspondiente a cada unidad se genera multiplicando los coeficientes generados por el programa STATGRAPHICS Plus 5.1, por la respectiva concentración de la variable química y realizando la suma algebraica de estos productos con el valor de la constante, obteniéndose de esta manera las siguientes ecuaciones de las funciones discriminantes:

Función 1:  $-1167,78 + 1,18234 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 42,9473 \cdot \text{CaO} + 0,123459 \cdot \text{Co} + 29,0385 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 84,9823 \cdot \text{K}_2\text{O} + 51,6134 \cdot \text{MgO} + 345,335 \cdot \text{MnO} - 2,91465 \cdot \text{Mo} -$

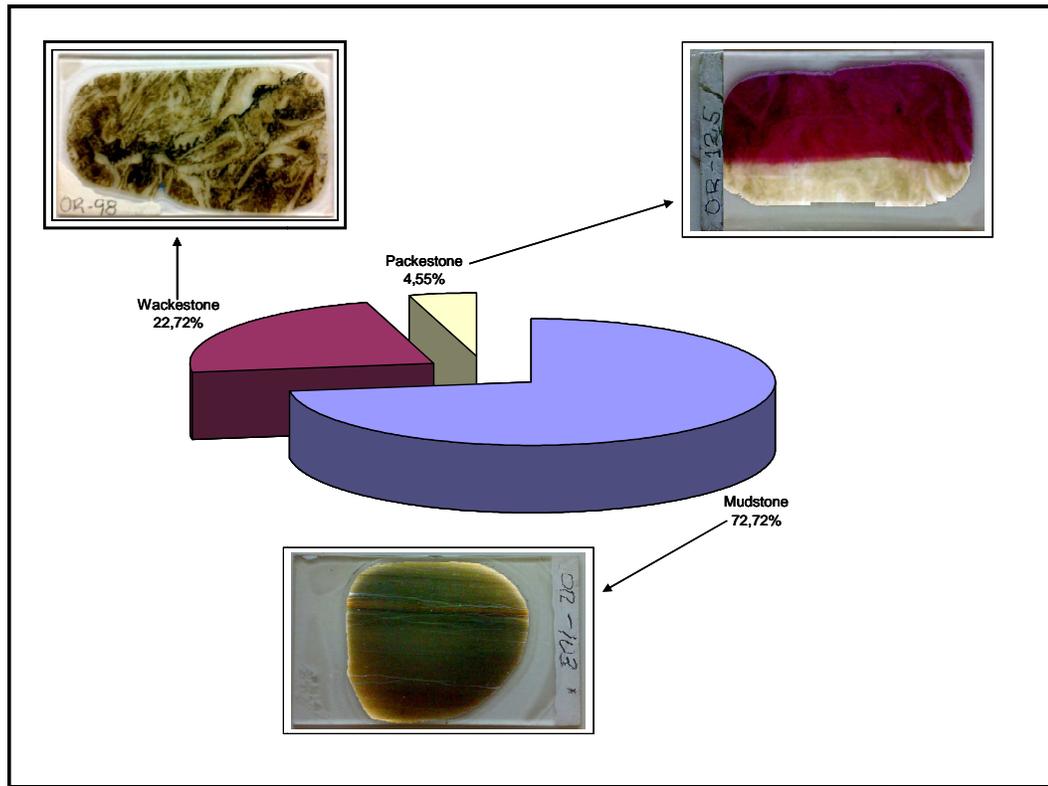


$$0,00907868 * Ni + 0,92074 * Pb + 0,12942 * Rb + 24,0173 * SiO_2 - 0,038015 * Sr + 352,752 * TiO_2 + 0,293959 * V_{ppm} - 0,361354 * Zn - 0,13977 * Zr$$

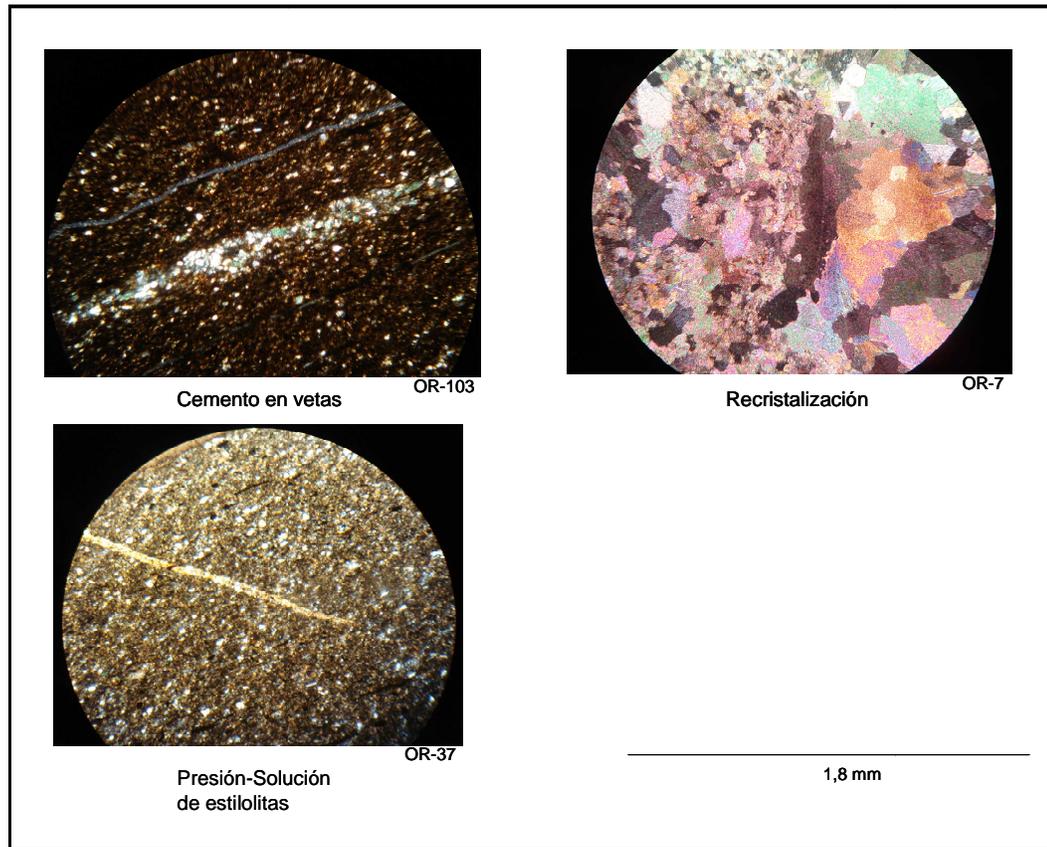
$$\text{Función 2: } -0,169826 * Al_2O_3 + 1,7203 * CaO + 0,134868 * Co + 0,308158 * Fe_2O_3 - 0,752535 * K_2O + 0,112558 * MgO - 0,388606 * MnO - 0,546168 * Mo + 0,00196419 * Ni - 0,483941 * Pb + 0,643141 * Rb + 1,06044 * SiO_2 + 0,0166604 * Sr + 0,592661 * TiO_2 - 0,294783 * V_{ppm} - 0,0181601 * Zn - 0,0477211 * Zr$$

## 5.5 ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Petrográficamente se analizaron 22 muestras, siendo clasificadas según los criterios texturales establecidos por DUNHAM (1962), encontrándose en ellas un predominio de rocas tipo mudstone (16 muestras → 72,72%), wackestone (5 → 22,72% muestras) y packestone (1 muestra → 4,55%) (Figura 5.9). Este análisis petrográfico arrojó que en la mayoría de las muestras se presenta un porcentaje de componentes extraclásticos entre 1-20 %, de componentes ortoquímicos entre 10-94 % y en muy pocas muestras componentes aloquímicos en un porcentaje que varía entre 1-35 % (Anexo 7), también se pudo interpretar que la sección de estudio presenta una diagénesis tardía caracterizada por recristalización, cemento en vetas y presión- solución de estilolitas (Figura 5.10).

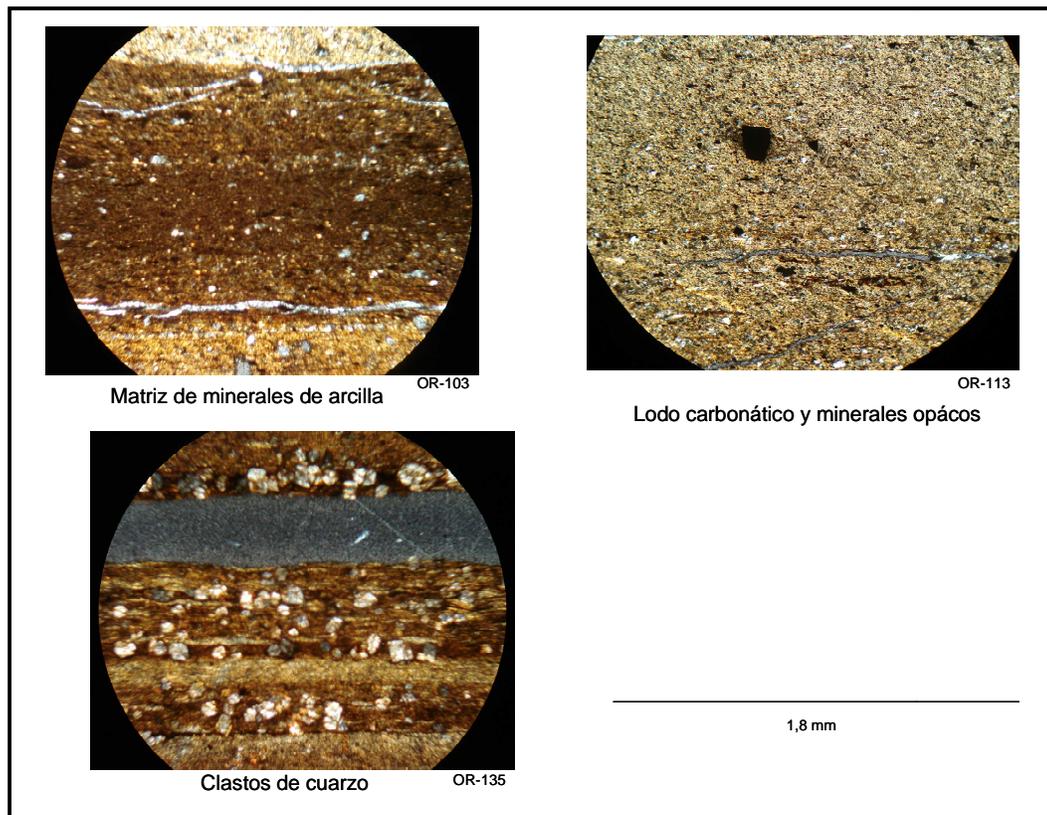


**Figura 5.9** Representación porcentual e ilustrativa de los tipos petrográficos de la Formación La Luna en la sección de estudio.



**Figura 5.10** Efectos diagenéticos de la Formación La Luna en la zona de estudio.

Las secciones petrográficas se caracterizan, en general, por su gran contenido de lodo carbonático y minerales de arcilla, presencia de pirita y materia orgánica, arreglo laminar de los minerales. En las muestras del tope de la sección se observan clastos de cuarzo y presencia de foraminíferos (Figura 5.11).

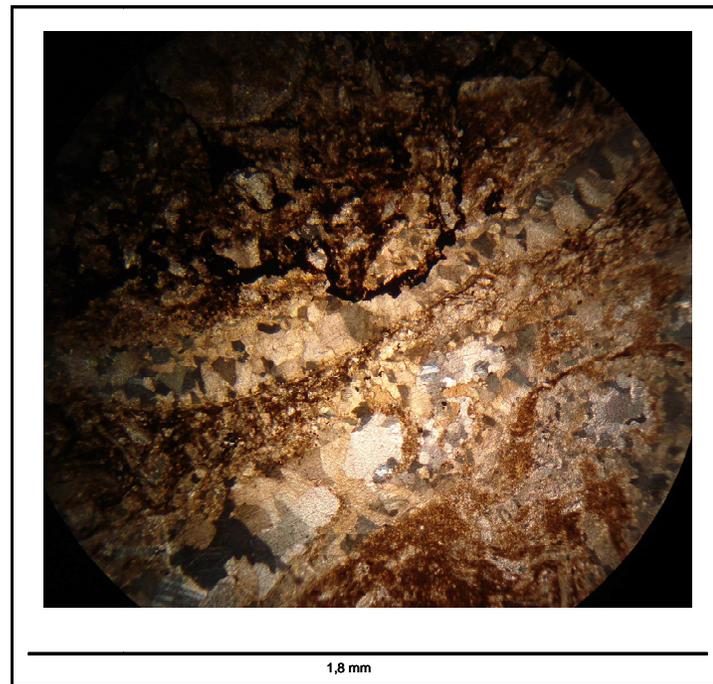


**Figura 5.11** Características generales de las petrografías de la sección quebrada La Ortiza.

## 5.6 ANÁLISIS BIOESTRATIGRÁFICO

La investigación paleontológica de la Formación La Luna en la sección de la quebrada La Ortiza, se redujo necesariamente a la micropaleontología de secciones finas, ya que no fue posible realizar técnicas tridimensionales convencionales como lavado de lutitas, debido a su grado de dureza. De este modo el estudio micropaleontológico estuvo dirigido fundamentalmente a la identificación de foraminíferos (pláncticos y béticos) basándose en la zonación de PREMOLI SILVA & SLITER (1999), con la finalidad de obtener una posible calibración estratigráfica.

En la petrografía realizada a las calizas se encontró macrofósiles de fragmentos de moluscos (Figura 5.12), los cuales también se observaron en las muestras de mano del resto de ellas.



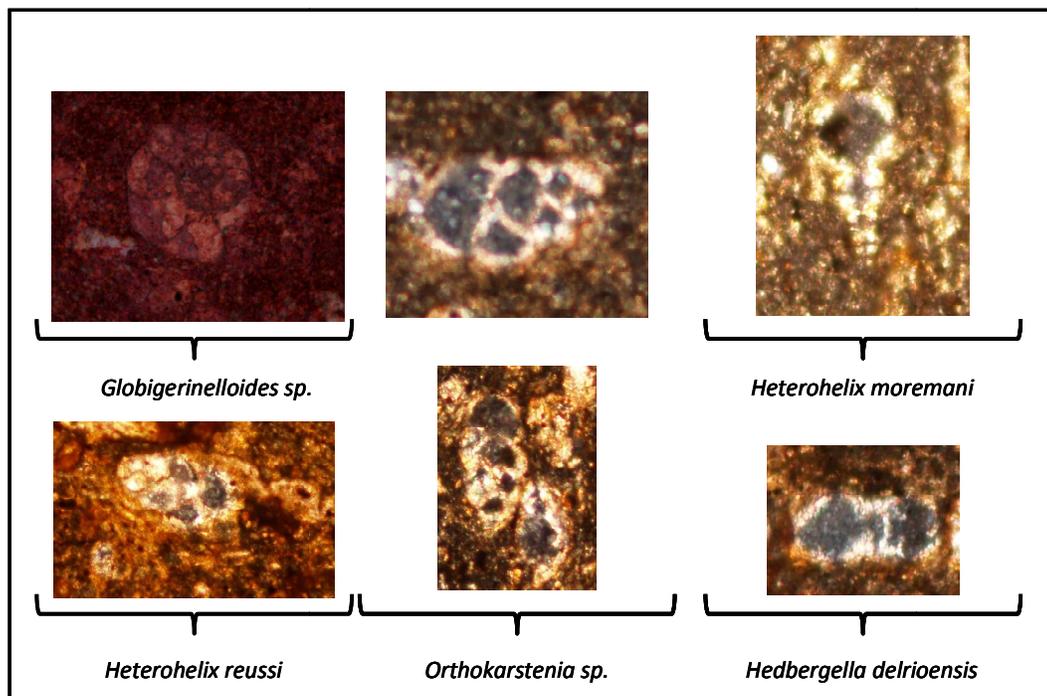
**Figura 5.12** Macrofósiles de fragmentos de moluscos recristalizados, pertenecientes a la zona de estudio.

El estudio de la quebrada La Ortiza arrojó contenido micropaleontológico hacia el tope con escasa presencia de estos organismos.

De las muestras analizadas, sólo aquellas ubicadas hacia el tope de la sección mostraron la presencia de foraminíferos. El conjunto faunal se caracterizó por una baja diversidad y abundancia.

### 5.6.1 DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA

La distribución y abundancia de los foraminíferos plácticos y béticos, se estableció por medio del conocimiento de la morfología de cada organismo. Cada género encontrado posee una abundancia menor a cinco ejemplares. En total fueron reconocidos 5 géneros de foraminíferos plácticos, dominados por especies simples, eutróficas y globulares, del género *Heterohelix* (*reussi*, *moremani*), y en menor proporción *Hedbergella* (*sp. delrioensis*) y *Globigerinelloides* *sp.* En cuanto a los foraminíferos béticos se reconocieron 2 géneros infaunales, *Gabonita* *sp.* y *Orthokarstenia* *sp.* (Figura 5.13).



**Figura 5.13** Fotomicrografías de los foraminíferos identificados en la sección de estudio.

### 5.6.2 INTERPRETACIÓN PALEOBATIMÉTRICA



Bajo condiciones normales marinas abiertas, la composición de la asociación faunal es un indicador muy útil de la paleobatimetría. Sin embargo, para las condiciones del Cretácico Tardío en Venezuela, las variaciones de las relaciones pláncnicos/bénticos es también función de la variación de la productividad de las aguas superficiales y de la oxigenación del fondo, por ende pueden reflejar tanto cambios en las condiciones de la columna de agua como cambios de profundidad (KERTZNUS, 2002).

LECKIE (1987) realizó una evaluación de paleopropiedades a partir de conjuntos pláncnicos, teniendo como propuesta que la distribución de los foraminíferos pláncnicos responde a una estratificación que puede ser una función de la densidad de la columna de agua, especialmente en latitudes bajas, donde las variaciones de temperatura y salinidad en la parte superior pueden promover la partición vertical de nichos y mayores diversidades. De esta manera, propone tres grupos faunales para latitudes bajas, con base en las asociaciones de foraminíferos pláncnicos del Cretácico Tardío.

- Fauna de mares epicontinentales (<100m), caracterizada por especies biseriales como el *Heterohelix* y formas triseriales como la *Guembelitra*. Sugiere que estas especies habitan cerca de la superficie de las aguas y son de mayor tolerancia ecológica que otros géneros cretácicos. Junto con estos organismos oportunistas, pueden encontrarse altas proporciones de pequeños especímenes de *Hedbergella* sp. y *Globigerinelloides* sp.
- Fauna de aguas someras (<100m), caracterizado por especímenes de *Hedbergella* sp. y *Globigerinelloides* sp., como los mayores componentes de esta fauna. Estas especies son los elementos dominantes de foraminíferos pláncnicos en secciones de aguas abiertas pelágicas.
- Fauna de aguas profundas (>100m), donde los géneros con quillas parecen ser los moradores de aguas profundas del Cretácico Tardío basado en la



distribución paleobiogeográfica, datos isotópicos, distribución relativa de los cambios eustáticos y por analogía con los hábitos de organismos vivientes, siendo estos más sensibles ambientalmente.

Según los grupos definidos por LECKIE (1987), la sección de la quebrada La Ortiza puede ubicarse entre los dos primeros (mares epicontinentales y aguas someras), debido a que los organismos que los caracterizan coinciden con los identificados en la sección, así como también lo demuestra la poca abundancia de los géneros. Los foraminíferos béticos identificados, han sido reportados en ambientes que varían desde nerítico hasta batial superior (Koutsoukos y Hart, 1990), sin embargo dado la pobre diversidad y la baja abundancia se propone un ambiente nerítico.

### 5.6.3 EDAD

Diversos autores han enfocado sus esfuerzos en la datación de la Formación La Luna a lo largo del occidente de Venezuela. Recientemente GALEA (1989), estudia la Formación La Luna en los Andes, donde de acuerdo a los foraminíferos identificados en las microfacies descritas, establece una edad en la sección basal de Cenomaniense tardío – Turoniense temprano, por la última aparición del género *Rotalipora* y la primera ocurrencia de *Whiteinella* sp. Para la sección superior le asigna una edad Campaniense temprano por la última ocurrencia de *Marginotruncana sinuosa* y la ocurrencia conjunta de *Bolivinooides strigillatus* y *B. culverensis*.

TRUSKOWSKI *et al.* (1995), identifican en Perijá, en la costa occidental del Lago de Maracaibo y en algunos núcleos del subsuelo a lo largo del mismo, la Zona de *Rotalipora cushmani*; permitiendo establecer la base de esta formación no más joven que Cenomaniense tardío. En el mismo año ROMERO & GALEA (1995), en los Andes, específicamente en Mérida y al oeste de Táchira, le asignan una edad de Santiense



tardío a Campaniense tardío al Miembro Tres Esquinas por la presencia de las zonas de *Globotruncanita elevata* – *Globotruncana ventricosa*.

VILLAMIL & PINDELL (1998), señalan la dificultad para la datación del Miembro Tres Esquinas por bioestratigrafía tradicional, dada la existencia de algunos especímenes bénticos fosfatizados y escasos foraminíferos plácticos globosos pobremente preservados con rangos evolutivos muy amplios, por lo que delimitan al mismo por las edades de las formaciones La Luna y Colon, indicando una base diacrónica comenzando en el Santoniense tardío y Campaniense.

LORENTE *et al.* (1997), estudian detalladamente la Formación La Luna e igualmente proponen como límites de edad Cenomaniense tardío en la base (por la presencia de Zona de *Rotalipora cushmani*), y Campaniense tardío para el tope (Zona de *Globotruncanita calcarata*). Asimismo, señala la posibilidad de la existencia de un hiato entre el tope de la Formación La Luna y la base de la Formación Colón, abarcando un intervalo estratigráfico entre los niveles superiores del Campaniense y los inferiores del Maestrichtiense, identificado por la ausencia parcial de la Zona de *G. calcarata* y la Zona de *G. havanensis*.

COONEY & LORENTE (1997), reportan evidencias de la existencia de al menos un evento compresional más antiguo que lo reportado por autores anteriores (PARNAUD *et al.*, 1995; PINDELL & TABUTT, 1995), entre el Coniaciense tardío – Campaniense. Establecen que el margen Atlántico pasivo, pudo haber sido afectado tectónicamente por esfuerzos compresivos, resultando en plegamiento, fallamiento y erosión/no sedimentación, entre el Santoniense y Campaniense, el cual queda evidenciado regionalmente por la ocurrencia de un hiato correlativo entre el tope de la Formación La Luna y la base de Colón, que varía entre 13 Ma en la zona de Chejendé, estado Trujillo, 1 Ma en las quebradas Maraca y La Luna, en la Sierra de Perijá, identificado en la Cuenca de Barinas por DE GUERRA *et al.* (1996), y reconocido en la localidad de



Flor de Patria, estado Trujillo, por MADRID (2001) en base a la ausencia del Santoniense.

Una hipótesis señala que estos eventos podrían estar relacionados a tasas diferenciales de movimiento en las placas tectónicas mayores durante el Campaniense, o a acreción/obducción en el margen activo del Pacífico, que afectarían principalmente el borde occidental del margen pasivo. Otra hipótesis, sugiere al control ejercido por el Arco de Mérida, el cual fue sometido a un proceso de rejuvenecimiento a partir del Coniaciense tardío.

La figura 5.14, muestra la correlación cronoestratigráfica de la Formación La Luna en el occidente de Venezuela. En esta, se denota el carácter diacrónico en la sedimentación que se inicia durante el Cenomaniense tardío en la región noroccidental de la cuenca, equivalente a la actual Sierra de Perijá, Lago de Maracaibo y Trujillo, y avanza cubriendo la región de Mérida durante el Turoniense, hasta cubrir la región de Táchira entre el Coniaciense temprano–tardío. Durante el Santoniense temprano-medio, la cuenca se encuentra completamente inundada con condiciones similares en toda su extensión, por lo que la relación entre la sedimentación, eustacia y tectónica hasta este momento, es bastante simple, excepto en aquellas regiones ubicadas al norte de la cuenca occidental más cercanas al Arco de Mérida, que sufren modificaciones en la sedimentación (MADRID, 2001). Estos efectos, son correlacionables con el hiato que reporta COONEY & LORENTE (1997), el cual se extiende hacia el oeste hasta Perijá, pudiendo ser consecuencia de levantamientos o de eventos tectónicos aislados al norte de la región que quedaron reflejados en el registro estratigráfico, sugiriendo que mientras la parte sur de la cuenca fue rellenada de una manera gradual debido a la subsidencia constante y la carga, característico de cuencas que actuaron como márgenes continentales pasivos, la parte norte muestra evidencias de deformación (MACELLARI, 1988; VILLAMIL & PINDELL, 1998; VILLAMIL *et al.* 1999). Esta fase culmina con la sedimentación del

Miembro Tres Esquinas y Ftanita del Táchira durante el Campaniense, los cuales presentan igualmente un carácter diacrónico a lo largo del occidente de Venezuela.

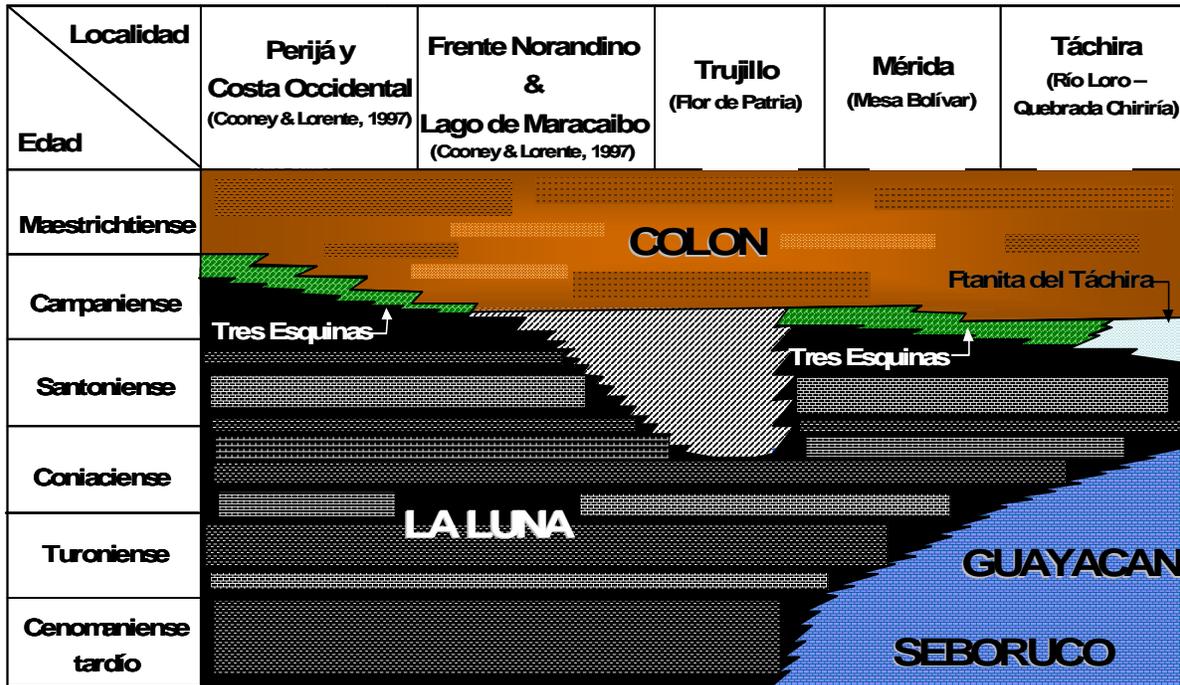


Figura 5.14 Correlación cronoestratigráfica de la Formación La Luna en el occidente de Venezuela (Tomado y modificado de COONEY & LORENTE, 1997)

En el intervalo Cenomaniense-Turoniense PREMOLI SILVA & VERGA (2004) establecen la Zona de la *Whiteinella archaeocretacea*, la cual definen como la zona de rango parcial de la última aparición del *Rotalipora cushmani* a la primera aparición de *Helvetoglobotruncana helvetica*. Esta zona comúnmente contiene una baja diversidad de conjunto de fósiles relacionado con la extensa depositación de sedimentos ricos en materia orgánica (EAO2). El conjunto de fósiles en este intervalo, consiste típicamente de raras especies de *Muricohedbergella*, *Whiteinella* y *Dicarinella* y más comúnmente *Heterohelix*. Este último género es el más abundante en las secciones que presentan contenido micropaleontológico de la zona estudiada.



Los foraminíferos encontrados en la sección de La Ortiza presentan las siguientes edades:

*Heterohelix reussi* → Cenomaniense tardío-Campaniense temprano

*Heterohelix moremani* → Albiense tardío-Santoniense

*Hedbergella delrioensis* → Albiense-Santoniense (punteado)

*Globigerinelloides sp.* → Turoniense-Campaniense

Las edades obtenidas por los foraminíferos pláncnicos indican un rango que va desde el Cenomaniense tardío al Santoniense temprano, tomando en cuenta que los mismos se observaron sólo en el tope de la sección estudiada se propone una edad Cenomaniense-Turoniense(?).

## 5.7 MARCO GEOLÓGICO DE SEDIMENTACIÓN

En el Cretácico Tardío la paleogeografía se caracterizó por elementos positivos que actuaron como plataformas someras estables, las cuales condicionaron las conexiones entre las subcuencas del occidente venezolano (GARCÍA JARPA *et al.*, 1980; ERLICH *et al.*, 2000a). La circulación de fondo estuvo restringida por estas barreras, provocando bajas tasas de ventilación en la columna de agua.

Durante este período se incrementaron de un 50 a 75% las tasas de producción de corteza y de expansión del piso oceánico (LARSON, 1991), lo que generó un aumento del volumen de los “ridges” que ocuparon más espacio en las cuencas oceánicas, causando un aumento en el nivel eustático del mar, llegando a ser lo suficientemente profundos (>100m) (TYSON & PEARSON, 1991), evidenciado por una transgresión, que incrementó las áreas platformales las cuales vinieron a ser sitios óptimos para



depositación de lutitas negras ricas en materia orgánica, originando secuencias tipo La Luna.

KERTZNUS (2002), divide la Formación La Luna, de base a tope, en cuatro intervalos de tiempo, que reúnen características similares en el ambiente y condiciones de sedimentación que le dieron origen. El primero de ellos comprende desde el Cenomaniense tardío al Coniaciense medio, el segundo del Coniaciense medio al Santoniense temprano-medio, el tercero desde el Santoniense medio hasta inicios del Campaniense y el cuarto Campaniense temprano-medio.

El primero de ellos es el de mayor interés para este estudio, debido a que la sección La Ortiza corresponde a este intervalo de tiempo, el cual empieza en el Cenomaniense como la etapa inicial del evento anóxico global (EAO2). Posiblemente para este momento las condiciones de productividad y anoxia estaban establecidas para áreas como la Plataforma de Maracaibo y el Surco de Machiques en lo que representaba el talud y plataforma carbonática.

A partir del Turoniense temprano y hasta el Coniaciense temprano, las condiciones anóxicas van disminuyendo progresivamente, hasta llegar a condiciones disóxicas e incluso óxicas, evidenciadas por el empobrecimiento relativo de iones metálicos, así como por tendencia hacia valores más pesados de  $\delta^{18}\text{O}$  y más livianos de  $\delta^{13}\text{C}$ , indicando un descenso de la salinidad, que aunado a la abundancia de foraminíferos bénticos y plácticos oportunistas en las asociaciones fósiles sugieren la pérdida de la estratificación de la columna de agua y el influjo de abundante cantidad de nutrientes (KERTZNUS, 2002).

La sección de La Ortiza fue dividida en tres unidades; la primera de ellas se ubica en la base y posee una litología que consta de estratos de gran espesor de lutitas intercalados con estratos muy delgados de caliza. Los valores en el contenido de  $\text{SiO}_2$ ,  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{CaO}$  indican el predominio de la sedimentación siliciclástica,



hacia el tope de la unidad los valores del  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  y del  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$  muestran un aumento en la energía del medio y que la fuente de sedimentos se encuentra cerca de la cuenca, las relaciones  $\text{V}/\text{Ni}$ ,  $\text{Ni}/\text{Co}$  y  $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$  reflejan que en esta unidad hay una variación cíclica de condiciones de oxidación y disoxia.

La unidad dos se encuentra en la parte media, muestra un incremento en la frecuencia de ocurrencia de los estratos de caliza, disminuye el espesor de los de lutita y se presentan hacia la parte media y superior estratos muy delgados de chert. Los valores del  $\text{CaO}$ ,  $\text{Sr}$  y  $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{CaO}$  reflejan el enriquecimiento en material calcáreo pero sigue el predominio de material siliciclástico. Los valores  $\text{MgO}$ ,  $\text{Zn}$  y el  $\text{Ni}$  son indicios del aumento en el contenido de materia orgánica. Las relaciones  $\text{V}/\text{Ni}$ ,  $\text{Ni}/\text{Co}$  y  $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$  tienen un comportamiento similar a los de la primera unidad, manteniéndose la variación entre las condiciones de oxidación y disoxia.

La tercera unidad ubicada en el tope de la sección, presenta características diferentes a las dos primeras. Litológicamente tiene una intercalación de estratos de gran espesor de caliza y lutita, reflejo del inicio de la transgresión. Las curvas del  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Rb}$  y  $\text{Sr}$  se observan en forma de bloque, reflejando la intercalación de los estratos. La relación  $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{CaO}$  tiene un comportamiento igual al de las curvas anteriores, mostrando que en esta parte de la sección se intercala el predominio entre el material siliciclástico y calcáreo. Los valores más altos del  $\text{V}$  y el  $\text{Mo}$  se encuentran en esta unidad, lo cual indica que hay mayor preservación de la materia orgánica. Las relaciones de  $\text{V}/\text{Ni}$ ,  $\text{Ni}/\text{Co}$  y  $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$ , mantienen las mismas condiciones que en las unidades anteriores hacia la parte basal y media, y hacia el tope aparecen por primera vez las condiciones anóxicas, lo que permite deducir que en este intervalo de la sección se comienza a evidenciar las condiciones que caracterizan el EAO2.



La anoxia en este sector se pudo deber a la presencia de barreras paleobatimétricas (Macizo de Santa Marta y Santander, el bloque de Paraguaná y los Andes de Mérida), las cuales causaron una pobre circulación y una ventilación limitada, otras posibles causas fueron las altas tasas de evaporación y pocas precipitaciones (alta salinidad) (ERLICH *et al.*, 2000a).

Tomando en cuenta los resultados arrojados por los análisis bioestratigráficos, petrográficos, quimioestratigráficos y litológicos, se estableció una diagénesis tardía caracterizada por el alto grado de recristalización presente en las petrografías, cemento en vetas y presión- solución de estilolitas, también se identificó la predominancia de rocas tipo mudstone con mayor contenido de componentes ortoquímicos. La sección de estudio presentó condiciones que corresponden a una paleobatimetría epicontinental y somera (<100m), caracterizada por las especies del género *Heterohelix* (*reussi*, *moremani*), *Hedbergella* (*sp.*, *delrioensis*), *Globigerinelloides* *sp.*, y los béticos *Gabonita* *sp.* y *Orthokarstenia* *sp.* Otra condición observada hacia el tope de la secuencia es el aumento en el aporte terrígeno, evidenciado por extraclastos de cuarzo, por la litología rica en SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> y el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y por el incremento en la relación (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/CaO.

Según las características observadas en la sección de La Ortiza y las encontradas en la literatura, las condiciones de la sección no coinciden con la sección tipo de la Formación La Luna, debido a que proponen una paleobatimetría mayor a 100m y sin indicios de aportes terrígenos; exceptuando lo propuesto por ERLICH (1999) en el mapa paleogeográfico del Cenomaniense y Turoniense (Figura 2.4 y 2.5) en donde coincide lo que el define como plataforma interna con las condiciones de la sección.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- En la sección La Ortiza de la Formación La Luna se realizó una descripción litológica, consiguiéndose tres tipos litológicos: Caliza, Chert y Lutita.
- Petrográficamente, la sección presenta una diagénesis tardía, caracterizada por recristalización, cemento en vetas y presión- solución de estilolitas. Mediante



este mismo análisis las muestras se clasificaron como mudstones, wackestones y packstones predominando los mudstone.

- Con los valores químicos obtenidos se definieron tres unidades químicas.
- La unidad química UQ1 ubicada en la base de la sección, posee mayor concentración de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  y Rb.
- La unidad química UQ2 posee mayor concentración de K, MgO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Co, Pb, Zn y Zr.
- La unidad química UQ3 ubicada en el tope de la sección, posee mayor concentración de  $\text{SiO}_2$ , CaO, Mo, Ni, Sr y V.
- La sección estratigráfica sólo presentó foraminíferos hacia el tope (UQ3), encontrándose ejemplares de géneros *Heterohelix (reussi, moremani)*, *Hedbergella (sp, delrioensis)*, *Globigerinelloides sp.*, *Gabonita sp.* y *Orthokarstenia sp.*
- Mediante el análisis químico y bioestratigráfico se obtuvo evidencias de condiciones paleobatimétricas someras (<100m), aumentando hacia el tope de la sección la frecuencia de ocurrencia y espesor de las estratos carbonáticos. A lo largo de la sección ocurre una variación cíclica entre las condiciones de oxigenación y disoxia, apareciendo hacia el tope el inicio de la anóxia del EAO2.
- A través de los análisis bioestratigráficos y geoquímicos se pudo establecer las condiciones de sedimentación, que en algunos intervalos son más clásticas, y que prevalecieron durante el Cenomaniense-Turonense en la Formación La Luna, sección quebrada La Ortiza; sin embargo, la utilización de equipos más avanzados hubiera mejorado los resultados.
- Mediante el análisis petrográfico se logró identificar los diferentes componentes aloquímicos y ortoquímicos, y los distintos géneros de los foraminíferos béticos y plácticos, así como fragmentos de moluscos, presentes en la sección estratigráfica.



- Los análisis químicos de fluorescencia de rayos X, permitieron obtener los elementos mayoritarios y traza necesarios para establecer las condiciones de la cuenca, siendo los elementos traza mejores indicadores de las condiciones de la cuenca (Co, Mo, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn y Zr).
- Con los datos obtenidos con los análisis mineralógicos y las relaciones geoquímicas se pudo establecer las variaciones de paleoambientes y nivel del mar, no pudiéndose llegar a establecer las de la salinidad, debido a que la relación que se utiliza para ello es la MgO/CaO (BELLANCA *et al.* 1999), y en la sección los valores del MgO están en su mayoría cerca del límite de detección, por lo que no sería confiable aplicar dicha relación.
- El muestreo realizado cada 20cm se considero adecuado ya que permite identificar las variaciones quimioestratigráficas y bioestratigráficas que sirven para realizar la caracterización de la sección.
- La metodología planteada para llevar a cabo los objetivos planteados, fue la adecuada, ya que se logró cumplir con cada uno de ellos.
- Los métodos estadísticos y los perfiles químicos utilizados para procesar los datos obtenidos, permitieron establecer las unidades químicas de la sección y evidenciar las condiciones de depositación de la cuenca. Siendo los perfiles químicos la herramienta que mejor muestra el comportamiento de los elementos químicos a lo largo de la sección.
- Los distintos software utilizados (NCSS 2000, Microsoft Excel XP y STATGRAPHICS Plus 5.1) sirvieron para desarrollar de manera adecuada los métodos estadísticos (diagramas de caja, histogramas y funciones discriminantes).

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Realizar mayor cantidad de petrografía hacia el tope de la sección La Ortiza, debido a que es donde hay presencia de foraminíferos.



- En cuanto a los análisis químicos se recomienda realizarlos en equipos de más alta tecnología.
- Realizar análisis para obtener el contenido de carbono orgánico total y combinarlo con los resultados de este estudio para ampliar la información sobre la cantidad y preservación de la materia orgánica presente en la sección.
- Utilizar software más avanzado para los métodos estadísticos.
- Realizar estudios en zonas cercanas a la sección estudiada, con la finalidad de establecer una correlación e integrar resultados, y así determinar condiciones e interpretaciones más amplias para el intervalo Cenomaniense- Turoniense en el occidente de Venezuela.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS

- ALBERDI, M. & R. TOCCO, (1999). *Trace metals and organic geochemistry of the Machiques Member (Aptian- Albian) and La Luna Formation (Cenomanian- Campanian), Venezuela*. Chemical Geology 160, p. 19-38.
- ALTUNA, A. (2006). *Caracterización química y radiométrica de diversos niveles de los pozos MAC-1X, MAC-2X y PIC-25, norte del estado Monagas*. Inédito T. E. G., 177p.



- BAPTISTA, N. (1994). *Estudio geológico y geoquímico de la Formación La Luna en sus secciones tipo en la Cuenca de Maracaibo, estado Zulia*. Inédito T. E. G., 272p.
- BARITTO, I. (2003). *Caracterización química de muestras de sedimentos superficiales y de núcleos de la fachada Atlántica Venezolana*. Trabajo Especial de Grado, Dpto. de Geología, UCV, 436 p.
- BELLANCA A, MASETTI, D, NERI, R & VENECIA, F (1999) *Geochemical and sedimentological evidence of productivity cycles recorded in Toarcian black shales from the Belluno Basin, outhern alps, norther Italy*. Journal of sedimentary research, 69(2), p.466-476
- BERTINE, K. (1972). *The deposition of molibdenum in anoxic Waters*. Mar, Chem., 43-53 p.
- BRICEÑO ET AL. (1996) *Caracterización de quimiofacies en rocas Cretácicas del área sur del estado Táchira*. Dpto. Geología. Trabajo especial de grado. 200p.
- BRICEÑO, H. & A. CALLEJÓN (2000). *Chemostratigraphic correlation of the source rock in the La Luna – K/T petroleum system in Southwestern Venezuela*. En: Research conference. Paleogeography and hydrocarbon potential of the La Luna Formation and related cretaceous anoxic system. SPEM, Caracas, Edición en CD.
- CALVERT, S. & B. PRICE. (1983). *Geochemistry of Namibian shelf sediments*. Pt. A. 337-375 p.



- CALVERT, S. & T. PEDERSEN (1983). *Geochemistry of recent oxic and anoxic marine sediments: implications for the geological record*. Mar. Geol 113, 67-88p.
- CAMPOSANO, L. & N. MARTÍNEZ (2000). *Caracterización química y radiométrica de secciones estratigráficas de las formaciones Barco y Mirador. San Pedro del Río. Edo. Táchira*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 245 p.
- CAMPOSANO L. (2002). *Resultados integrados realizados para optimizar las mediciones con el espectrómetro de fluorescencia de rayos x por energía dispersiva NITON XL-722S*. Informe para el Laboratorio de Difracción y Fluorescencia de rayos X de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Inédito. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela, 47 p.
- CEDILLO J. & W. OLAYA. (2003). *Caracterización química y radiométrica de sedimentos de una zona ubicada al noroeste del Delta del Orinoco en el Océano Atlántico, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado , Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 1995 p.
- CHACÍN C. (2003). *Caracterización química y radiométrica de muestras de canal correspondientes a cuatro pozos del Campo Petrolífero La Concepción, estado Zulia*. Trabajo Especial de Grado, Inédito, Departamento de Geología, UCV, 254 p
- CHESTER, R. (1990). *Marine Geochemistry*. Unwin Hyman, LTD, London, 698 p.



- COONEY, P & LORENTE, M.A (1997). *Implicaciones Tectónicas de un Evento Estructural en el Cretácico Superior (Santoniense – Campaniense) de Venezuela occidental*. VIII Congreso Geológico Venezolano, Tomo I, Venezuela p. 195-204.
- CORRENS, C. W. (1949). *Einführung in die Mineralogie*. Ediciones Omega. Springer Verlag, Berlín, 414p.
- DAVIS, C. & L. PRATT. (1999). *Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System Boulder*. Barrera E. y Johnson C. Ediciones. Geological Society of America, 203-230.
- DEAN W. & M. ARTHUR. (1998). *Geochemical expressions of cyclicity in Cretaceous pelagic limestone sequence: Niobrara Formation. Western Interior Seaway*. In: DEAN W & M. ARTHUR (Eds). *Stratigraphy and paleoenvironments of the Cretaceous Western Interior Seaway*. USASEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology, No 6, 227-255.
- DE GUERRA, C.; DE MONROY, Z.; DE CABRERA, S.; ARNSTEIN, R.; DI GIANNI, N. & FIGUEROA L.(1996) *Palynostratigraphy of the Paguey Formation, Barinas basin, Western Venezuela* AAPG International Meeting. Caracas, Venezuela.
- DE ROMERO L. & F. GALEA-ALVAREZ. (1995). *Campanian Bolivinoides and microfacies from the La Luna Formation, western Venezuela*. *Marine Marine Micropaleontology* 26, 385-404.
- DILL, H. (1986). *Metallogenesis of early Palaeozoic graptolite shales from the Graefenthal Horst, Germany*. *Econ. Geol.*, 81: 889-903 p.



- DISCEPOLA, P. & D. RODRÍGUEZ. (2002). *Caracterización geoquímica de los carbonatos lodosos de la Formación La Luna, en las secciones de Flor de Patria y San Pedro del Río, estados Trujillo y Táchira respectivamente*. Inédito T. E. G., 263p.
- DOS SANTOS, D. & G. SOTO. (2002). *CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA DE LOS LITOTIPOS LODOSOS DE LA FORMACIÓN LA LUNA EN LA SECCIÓN DE LA QUEBRADA CHIRIRÍA, ESTADO TÁCHIRA*. INÉDITO T.E. G., 154P.
- DUNHAM, R.J. (1962). *Clasificación of carbonate rocks according to depositional texture*, en Ham W.E. (ed), *Clasificación of carbonate rocks: A.A.P.G. Mem 1*, p. 108 – 121.
- DYPVIK, H (1984). *Geochemical compositions and depositional conditons of Upper Jurassic and Lower Cretaceous Yorkshire clays, Englang*. Geol. Mag., 121: 489-504 p.
- EMERSON, S. & S. HUESTED (1991). *Ocean anoxia and the concentrations of molybdenum and vanadium in seawater*. Mar. Chem., 34: 177-196 p.
- ERLICH, R. N. (1999). *Depositional environments, geochemistry and paleogeography of Upper Cretaceous organic carbon-rich strata, Costa Rica and Westem Venezuela*. Universidad de Vrije, 139p.
- ERLICH, R. & LORENTE, (1997). *Origin and Depositional Environments of Turonian-Maastrichtian Organic-rich and Phosphatic Sediments of Western Venezuela*, VI Simposio Bolivariano. Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, Colombia, pp. 478 – 524



- ERLICH, R. N., MACSOTAY O., NEDERBRAGT, A. J. & LORENTE M. A. (2000a). *Birth and Death of the Late Cretaceous “La Luna Sea”, and Origin of the Tres Esquinas Phosphorites*. Trabajo No publicado. Vrije Universiteit, Faculteit der Aardwetenschappen, Amsterdam, The Netherlands.
- ERLICH, R. N., PALMER- KOLEMAN, S. E. & LORENTE, M. A. (2000b). *Geochemical characterization of oceanographic and climatic changes recorded in upper Albian to lower Maastrichtian strata, western Venezuela*. Trabajo no publicado BP Amoco Exploration and Production, 501 Westlake Park Blvd., P. O. Box 3092, Houston, TX, 77079 USA SEPM Paper 10p.
- ESTÉVEZ I. (2000). *Estudio quimioestratigráfico del Terciario temprano-medio y límite Cretácico-Terciario del Occidente venezolano*. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias de la Tierra. UCV. Inédito. Caracas.
- FAIRBRIDGE, R. (1972). *The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences. Encyclopedia of Earth Sciences series, volume IVA*. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Pensilvania, 1321 p.
- FEO CODECIDO, G. (1972). *Contribución a la estratigrafía de la Cuenca Barinas-Apure*. IV Congreso Geológico Venezolano. Publicación especial 5 (II), 773-792p.
- FILBY, R. (1994). *Origina and nature of trace elements species crude oils, bitumens and kerogen*. Geological Society Special Publication No. 78, 203-219p.



- GALEA, F. (1989) *Microfacies, Edad y Sedimentación de la Formación La Luna, Flanco Norandino, Venezuela*. Informe Técnico Maraven, S.A EPC – 12663, 22pp.
- GARCÍA JARPA, R.; S. GOSH; F. RONDON; I. FIERRON.; M. SAMPOL; G. BENEDETTO; C. MEDINA; O. ODREMAN; T. SÁNCHEZ & A. USECHE. (1980). *Correlación Estratigráfica y síntesis paleoambiental del Cretácico de Los Andes Venezolanos*. XIV (26), 88p.
- GLIKSON, H., B. CHAPPELL, R. FREEMAN & E. WEBBER (1985). *Trace elements in oil shales, their source and organic association with particular reference to Australian deposits*. Chem, Geol. 53, 155-174 p.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., A. ITURRALDE, & X. PICARD. (1980). *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Ediciones Foninves Tomo I y II.
- GONZÁLEZ, L. & G. SÁNCHEZ. (2001). *Caracterización geoquímica y radiométrica de dos secciones estratigráficas de la Formación La Luna, en el estado Táchira*. Inédito T. E. G., 232p.
- GOSH, S. (1984). *Late Cretaceous condensed sequence Venezuelan Andes; GSA Memoir 162*, p. 317-323
- HAQ, B.U. (1988). *Society of Sedimentology* (1988). Special Publication, 42, 71-108.
- HATCH, J.R & J.S LEVENTHAL (1991). *Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A*. Chemical Geology, 99 (1992)65-82.



- HECKEL, P. (1991). *Thin, widespread Pennsylvanian black shales of Midcontinent North America, a record of a cyclic succession of widespread pycnoclines in a fluctuating epeiric sea*. Geol. Soc. (London), Spec. Publ., 58: 259-273 p.
- HEDBERG, H. D (1931) *Cretaceous limestones aspetroleum source rock in northwestern Venezuela*. AAPG Bull., 15 (3), p. 229-244
- HERBERG, H.D. & SASS, L.C. (1937) *Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo, Venezuela*. Boletín de Geología y Minería, 1(2-4), p. 71-112.
- IMÁGENES WEB SITE S.R.L (1999). *A-Venezuela*. [Artículo en línea]. Disponible: [www.a-venezuela.com/mapas/map/html/viajes/tachirav](http://www.a-venezuela.com/mapas/map/html/viajes/tachirav) - B [Consulta: 2008, enero10]
- JONES, B. & D. MANNING (1993). *Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones*. Chemical Geology, 111, (1994) 111-129p.
- JORGENSEN N. 1986. *Chemostratigraphy of upper Cretaceous chalk in the Danish subbasin*. AAPG Bulletin , 70 (3): 309-317.
- KELLER, G.; Z. BERNER; T. ADATTE & D. STUEBEN. (2004). *Cenomanian-Turonian and  $\delta^{13}C$ , and  $\delta^{18}O$ , sea level and salinity variations at Pueblo, Colorado*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 221, 19-43p.



- KERTZNUS, V. (2002). *Bioestratigrafía y Paleoecología de la Formación La Luna en los Andes Venezolanos*. Inédito T. E. G., 159p.
- KOROLEV, D. (1958). *The role of iron sulphide in the accumulation of molybdenum in sedimentary Rocks of the reduced zone*. *Geochem. Int.* 4, 452-463 p.
- KOUTSOUKOS, A. M. & HART, M. B. (1990) *Cretaceous foraminiferal morphogroup distribution patterns, palaeocommunities and trophic structures: a casestudy from the Sergipe Basin, Brazil*. *Transactions of the Royal Society of Edinburh: Earth Sciences*, 81d: 221-246.
- LARSON, R.L. (1991B). *Geological consequences of superplumes*. *Geology*, 19, p.963-966.
- LEAL, F. & O. RIVERO. (2004). *Estudio de litofacies y quimioestratigrafía de la sección superior de la Formación El Paraíso como herramienta para determinar posibles características de potencialidad generadora y/o almacenadora de hidrocarburos en la sección geológica del río Paraíso*. Inédito T. E. G., 209p.
- LECKIE, R. M. (1987) *Paleoecology of mid-Cretaceous planktonic foraminifera: a comparison of open ocean and epicontinental sea assemblages*. *Micropaleontology*, 33:164-176.
- LEWAN, M. & J. MAYNARD. (1982). *Factors controlling enrichment of vanadium and nickel in the bitumen of organic sedimentary rocks*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 46: 2547-2560 p.
- LÉXICO ESTRATIGRÁFICO ELECTRÓNICO DE VENEZUELA. PDVSA, 1999.



- LEWAN, M. (1984). *Factor controlling the proportionality of vanadium to nickel in crude oils*. Geochim. Cosmochim. Acta 48, 2231. 2238 p.
- LORENTE, M.A ET AL. (1997). *Nuevos aportes para la datación de los principales eventos tectónicos y unidades litoestratigráficas de la Cuenca Maracaibo, Venezuela occidental*. MEM. 18(31), 33-44 p.
- LUGO, J. (1994). *The Mérida Arch: Tectonic Control On Deposition From Late Mesozoic To Early Cenozoic In Western Venezuela Caracas*. Memorias V Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera en ILas Cuencas Subandinas, p. 291-310.
- LUGO, J. & P. MANN. (1995). *Jurassic-Eocene tectonic evolution of Maracaibo Basin, Venezuela*. En: Tankard, A. J., Suárez Soruco, R., Welsink, H.J. (Eds.), *Petroleum Basins of South America*, AAPG Mem. 62, 699-725 p.
- MACELLARI, C. E., (1988). *Cretaceous paleogeography and depositional cycles of western South America*. J. South Am. Earth Sci. 1, 373-418 p.
- MADRID, I. (2001). *Caracterización bioestratigráfica por métodos petrográficos de la Formación La Luna, sección "Flor de Patria" en el occidente de Venezuela, estado Trujillo*. Inédito T. E. G., 171p.
- MASON, B. (1960). *Principios de Geoquímica*. Ediciones Omega. Barcelona, 333p.



- MARCANO, G. (1999). *Estudio diagenético detallado y relaciones geoquímicas de la Formación La Luna, en los pozos TOT-3 y ALP-6 del margen occidental de la cuenca de Maracaibo*. Inédito T. E. G., 195p.
- MORFORD, J.L; RUSSELL, A.D & S. EMERSON(1999). *Trace metal evidence for changes in the redox environment associated with the transition from terrigenous clays to diatomaceous sediment, Saanich Inlet, BC.* ;Marine Geology 174 (2001) 355-369p.
- NAYA, D. (2002). *Caracterización sedimentológica de la Formación La Luna en la sección del río San Miguel, estado Mérida*. Inédito T. E. G., 182p.
- NISSEBAUM, A. & D. SWAINE. (1976). *Organic matter metal interactions in recent sediments. The rock of humic substance*. Geochim. Cosmochim. Acta 40, 809-816p.
- NOGUERA, M. & S. YÉPEZ. (2002). *Caracterización química de secciones estratigráficas: formaciones Naricual y Querecual, estados Anzoátegui y Monagas*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 282 p.
- PARNAUD, F.; Y. GOU; J. PASCUAL; M.A, CAPELLO; I. TRUSKOWSKI, & H. PASSALACQUA. (1995). *Stratigraphic Síntesis of Western Venezuela. Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62*, 681-698p.
- PEDERSEN, T.F., & CALVERT, S.E. (1990). *Anoxia vs. productivity: what controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rocks?*. AAPG Bull., 74:454-466.



- PERALTA V., J. D., (1991). *Estudio estratigráfico del límite Cretácico-Terciario en Venezuela Occidental*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geología, UCV, 162 p.
- PINDELL, J. L. & K. D. TABUTT (1995). *Mesozoic-Cenozoic Andean Paleogeography and Regional Controls on Hydrocarbon Systems: AAPG Memoir 62*, p. 101-128.
- PREMOLI S., I. & SLITER, W. V. (1999). *Cretaceous paleoceanography: Evidence from planktonic foraminiferal evolution*. Geological Society of America, Special Paper 332, 301-328p.
- PREMOLI S., I. & VERGA, D. (2004). *Practical Manual of Cretaceous Planktonic Foraminifera*. Universita degli Studi di Perugia.
- RENZ, O. (1959). *Estratigrafía del Cretáceo en Venezuela occidental*. Bol. Geol., Caracas, 5(10):3-48 p.
- RENZ, O. (1982). *Estratigrafía del Cretácico en Venezuela Occidental*. Boletín de Geología, 5 (10), 3-48p.
- REY, O.; SIMO J. A. & LORENTE M. A. (2004). *A record of long- and short-term environmental and climatic change during OAE3: La Luna Formation, Late Cretaceous (Santonian- Early Campanian), Venezuela*. Sedimentary Geology 170, 85-105p.
- RODRÍGUEZ, N.; A. RUIZ & E. TUNDIDOR. (2000). *Caracterización química por fluorescencia de rayos X y radioisotópica por espectrometría gamma multicanal de dos secciones estratigráficas de la Formación Guárico, el Pao,*



*Estado Cojedes*. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Departamento de Geología, UCV, 263p.

- ROLLINSON, H. (1993). *Using Geochemical Data: Evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific & Technical, New York, 352 p.
- ROMERO, L. M. & GALEA, F. A., (1995). *Campanian Bolivinoidea and microfossils from the La Luna Formation, western Venezuela*. *Marine Micropaleontology*, (26): 385-404 p.
- ROSENTHAL, Y., P. LAM, E. BOYLE & J. THOMSON. (1995). *Authigenic cadmium enrichments in suboxic sediments: precipitation and postdepositional mobility*. *Earth Planet. Sci. Lett*, 132, 99-100 p.
- SHAW T., J. GEISKES & R. JAHNKE. (1990). *Early diagenesis in differing depositional environments: the response of transition metals in pore water*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, 1233-1246 p.
- SKOOG, D.; J. HOLLY & T. NIEMAN. (1992). *Principios de Análisis Instrumental*. 5<sup>ta</sup> edición, McGraw-Hill, Madrid, 1028 p.
- SOTO, G., (2007). *Identificación de sistemas encadenados en sedimentos pelágicos mediante métodos geoquímicos, Formación La Luna, occidente de Venezuela*. Inédito T.E.G. Universidad Central de Venezuela. 220 p.
- SPIEGEL M. (1988). *Estadística*. (Serie Schaum) Mc Graw Hill, Madrid, 532 p.



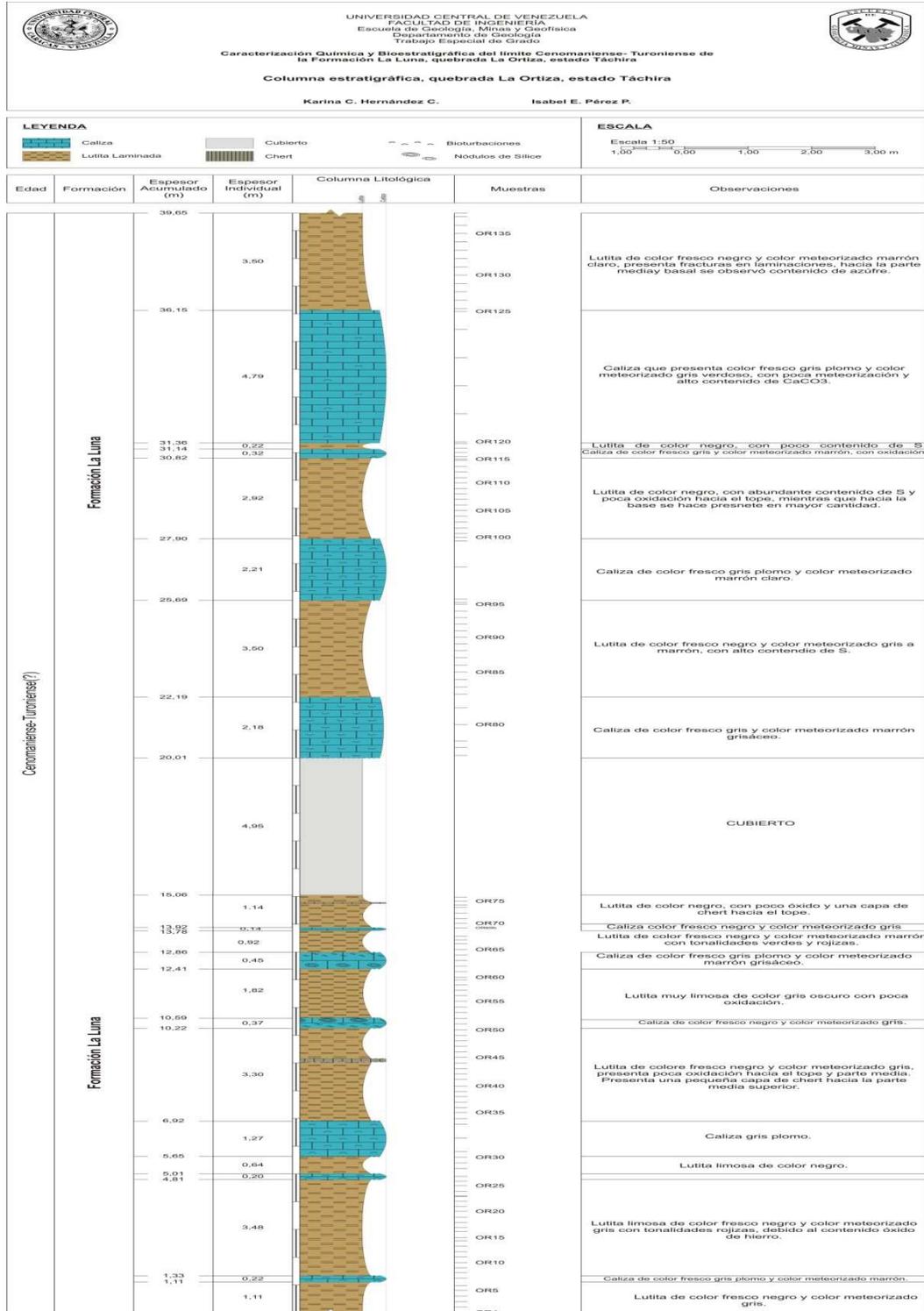
- STOUFER, S. (1993). *Distribución regional del carbono orgánico y fosfato en la Formación La Luna, cuenca de Maracaibo, estado Zulia*. Inédito T. E. G., 166p.
- THOMSON, J., N. HIGGS, T. WILSON, I. CROUDACE, G. DE LANGE & P. VAN SANTVOORT. (1995). *Redistribution and geochemical behavior of redox-sensitive elements around SI, the most recent Eastern Mediterranean sapropel*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 3487-3501 p.
- TRUSKOWSKI, I.; GALEA, F. & SLITER, W. (1995) *Cenomanian hiatus in Venezuela*. GSA Annual Meeting, New Orleans, p. 303-
- TYSON, R.V., PEARSON, T.H. (1991) *Modern And ancient continental shelf anoxia: an overview*. En: TYSON, R.V., PEARSON, T.H. (eds) (1991) *Modern And ancient continental shelf anoxia*. Geological Society Special Publication N°58. p. 1-24
- VERA J. (1994). *Estratigrafía: Principios y Métodos*. Editorial Rueda. Madrid, España; 806p.
- VILLAMIL & PINDELL (1998) *Mesozoic Paleogeographic Evolution of Northern South America. Foundation of Sequence Stratigraphic Studies in Passive Margin Strata Deposited During Non – Glacial Times*. SEPM Special Publication N° 58, p. 32 – 45.
- VILLAMIL, T., ARANGO, C. & HAY, W. (1999). *Plate tectonic paleoceanographic hypothesis for cretaceous source rocks and cherts of northern South America*: geological society of America special paper 332 , p. 1-11.



- WALLACE, H, J. THOMSON, T. WILSON, P. WEAVER, N. HIGGS & D. HYDES. (1988). *Active diagenetic formation of metalrich layers in N.E. Atlantic sediments. Geochim. Cosmochim. Acta* 52, 1557-1569.
- YARINCIK K & R. MURRAY (2000). *Climatically sensitive eolian and hemipelagic deposition in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578.000 years: Results from Al/Ti and K/Al. Paleceanography*, 15(2): 210-228.
- ZAMBRANO, E., B. DUVAL, M. LATREILLE & B. COFFINIERES. (1971). *Síntesis paleogeográfica y petrolera del occidente de Venezuela. IV Congreso Geológico Venezolano. Publicación Especial* 5 (I), 483-545p.
- ZAPATA, E. (2003). *Impacto de la Diagénesis en la composición isotópica de los carbonatos Cenomaniense-Campaniense de la Formación La Luna en Venezuela Occidental. Tesis Doctoral, Universidad Central de Venezuela*, 305p.
- ZAPATA, E.,G. SOTO & V. KERTZUS. (2006). *Identificación de Tractos Sedimentarios en sedimentos pelágicos mediante métodos geoquímicos. Formación La Luna, Occidente de Venezuela. Geogaceta*, 39 (2006), 7-10p. [Artículo en línea]. Disponible: <http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/Geo39/Geo39-2.pdf> [Consulta: 2008, enero 22]

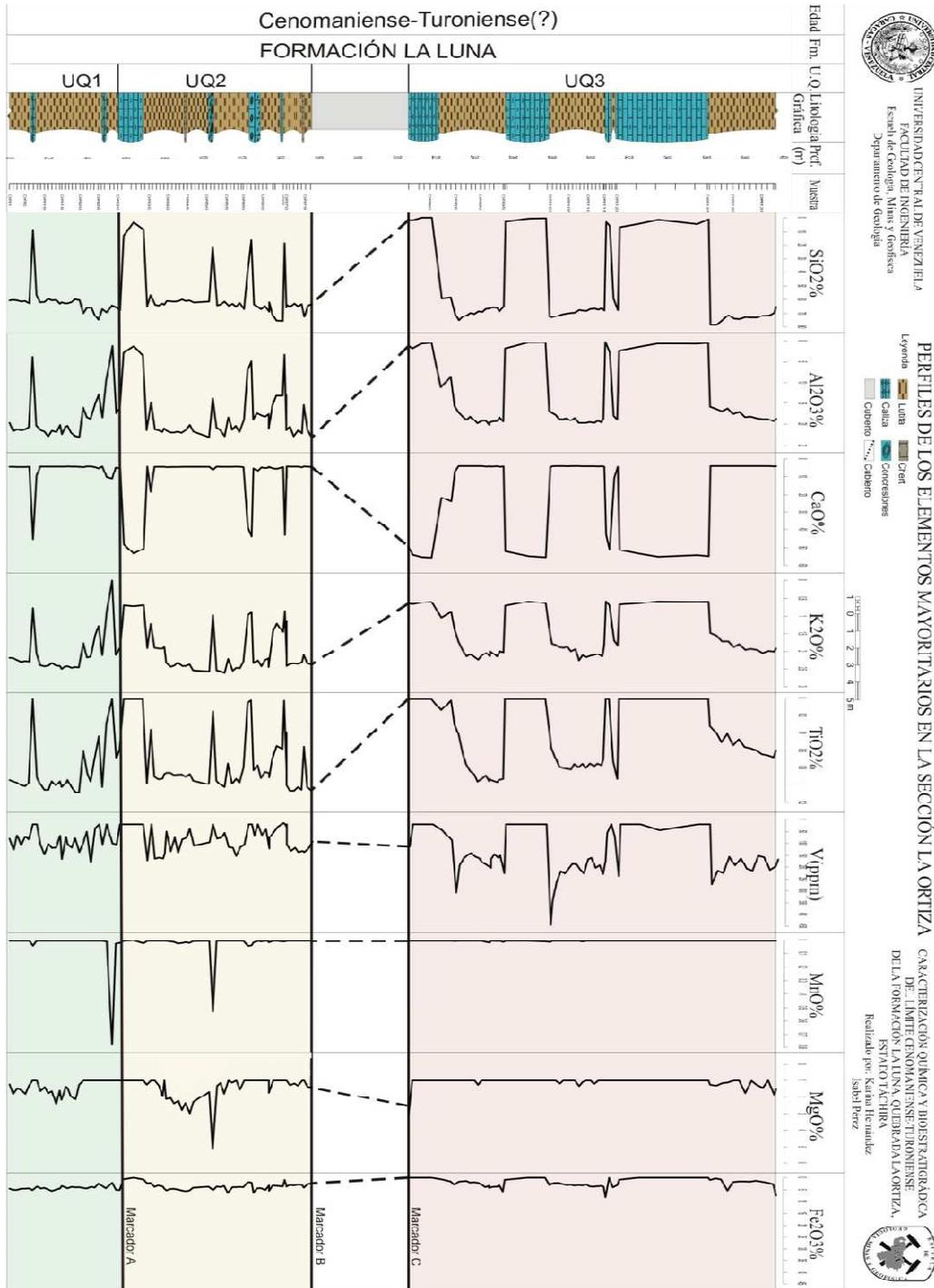
# ANEXO 1

## Columna estratigráfica, quebrada La Ortiza, estado Táchira



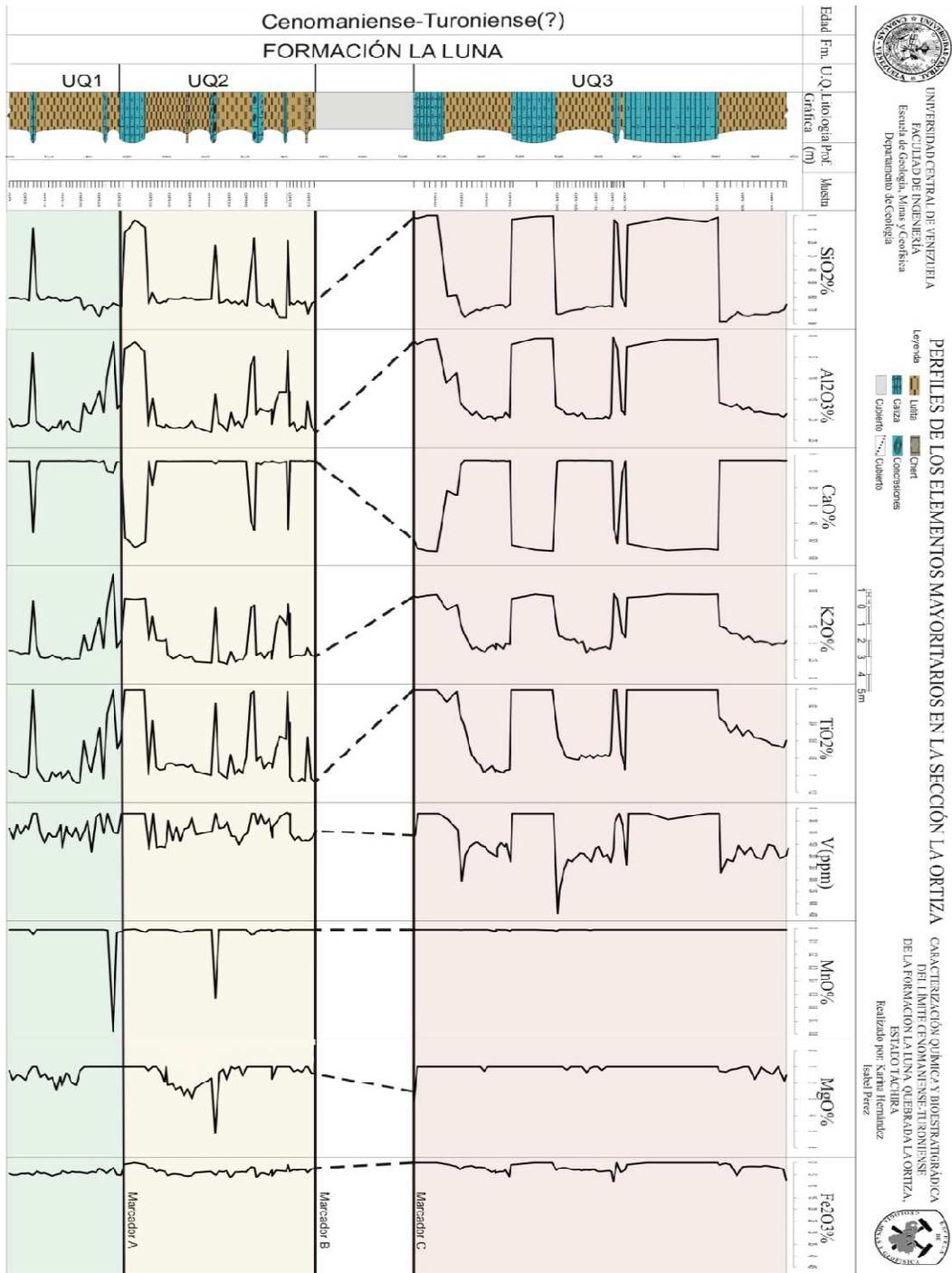
## ANEXO 2

### Perfiles de los elementos mayoritarios en la sección La Ortiza



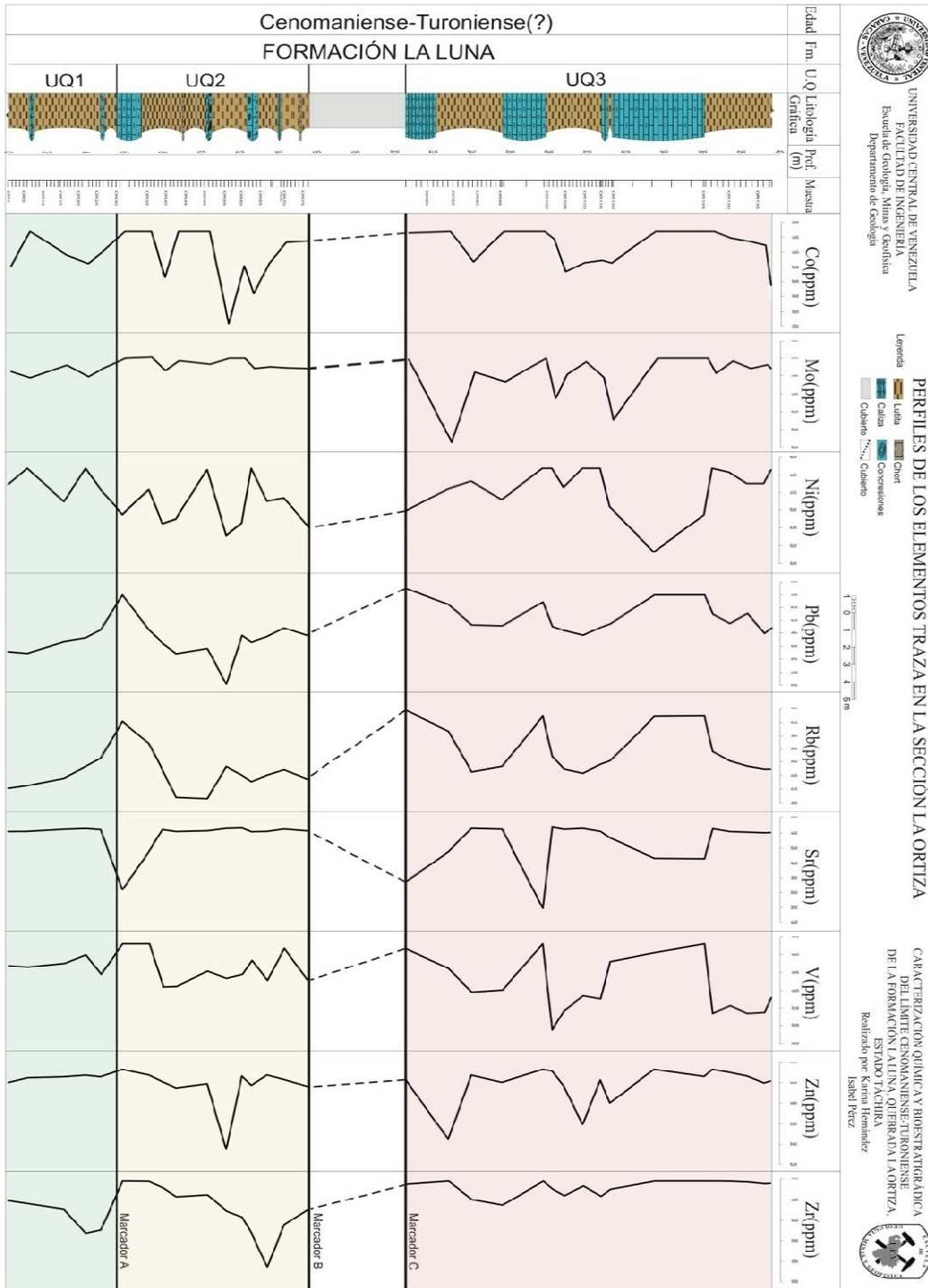
### ANEXO 3

Perfiles del promedio móvil 3 de los elementos mayoritarios en la sección La Ortiza



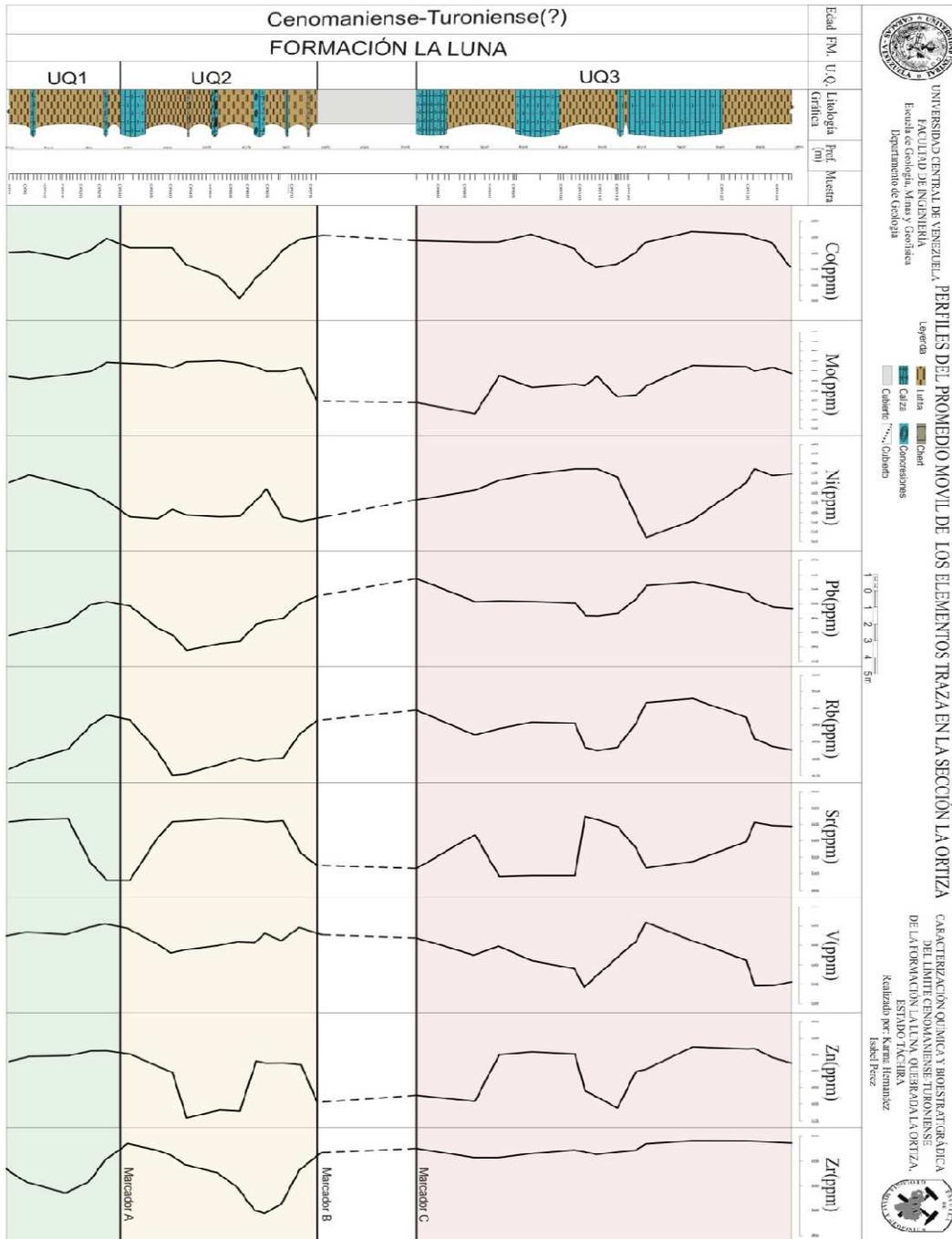
# ANEXO 4

## Perfiles de los elementos traza en la sección La Ortiza



# ANEXO 5

## Perfiles del promedio móvil 3 de los elementos traza en la sección La Ortiza



## ANEXO 6

Perfiles de las relaciones químicas de los elementos mayoritarios y traza en la sección La Ortiza

