

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



VALLECILLO, NUEVO LEÓN: YACIMIENTO FOSILÍFERO DEL
NORESTE DE MÉXICO

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

PRESENTA

ALBERTO BLANCO PIÑÓN

LINARES, NUEVO LEÓN

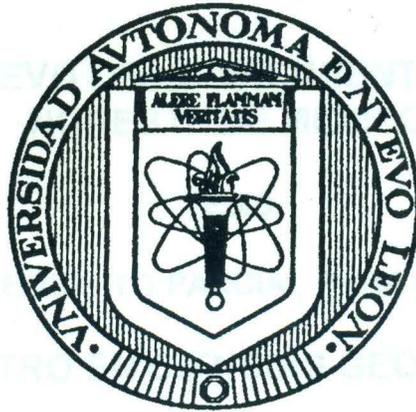
JULIO, 1998



1020123085

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



VALLECILLO, NUEVO LEÓN: YACIMIENTO FOSILÍFERO DEL
NORESTE DE MÉXICO

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

PRESENTA

ALBERTO BLANCO PIÑÓN

LINARES, NUEVO LEÓN

JULIO, 1998

0125 - 50960

TM
25818
E3
FCT
1998
B5

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



VALLECILLO, NUEVO LEÓN: YACIMIENTO FOSILÍFERO DEL
NOROESTE DE MÉXICO

TESIS



FONDO
TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO

MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

PRESENTA

ALBERTO BLANCO PIÑÓN

JULIO, 1998

LINARES, NUEVO LEÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



**VALLECILLO, NUEVO LEÓN: YACIMIENTO FOSILÍFERO DEL
NORESTE DE MÉXICO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

PRESENTA

ALBERTO BLANCO PIÑÓN

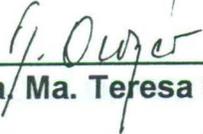
COMITÉ DICTAMINADOR DE LA TESIS



Dr. José Guadalupe López Oliva



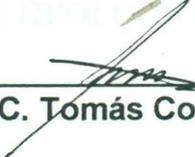
Dr. José Antonio Arz Sola



Dra. Ma. Teresa Orozco Esquivel

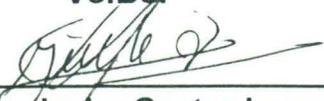


Dr. Francisco Medina Barrera



M.C. Tomás Cossío Torres

Vo.Bo.



Dr. Guillermo Javier Castro Larragoitia
Jefe de la División de Estudios de Postgrado

ÍNDICE

RESUMEN	ii
I PRESENTACIÓN	1
1.1 Introducción, 2	
1.2 Objetivos, 3	
1.3 Procedimiento, 4	
II SOBREVISTA GEOLÓGICA	5
2.1 El noreste de México durante el Cretácico tardío: litología y desarrollo paleogeográfico, 6	
2.1.1 Cenomaniano Temprano, 6	
2.1.2 Cenomaniano-Turoniano, 8	
2.1.3. Coniaciano-Santoniano, 11	
2.1.4 Campaniano-Maastrichtiano, 13	
2.2 Aspectos generales sobre la tectónica en el Noreste de México, 14	
III VALLECILLO, NUEVO LEON.	18
ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS	
3.1 Aspectos geográficos, 19	
3.1.1 Localización y vías de acceso, 19	
3.1.2 Vegetación, 19	
3.1.3 Clima y Suelo, 21	
3.2 Mapeo geológico, 22	
3.2.1 Generalidades del área, 22	
3.2.2 Estratigrafía, 22	

3.2.3 Tectónica, 26

**IV CAPAS FOSILÍFERAS DE VALLECILLO,
ESTADO DE NUEVO LEÓN**

30

4.1 Antecedentes, 31

4.2 Perfil litológico, 32

4.3 Microfacies, 35

4.3.1 Mudstone, 35

4.3.2 Wackestone, 35

4.2.3 Componentes, 36

4.2.4 Interpretación de facies, 41

4.4 Mineralogía, 42

4.4.1 Material y Método, 42

4.4.2 Análisis de Roca completa, 42

4.4.3 Minerales arcillosos, 46

**V FAUNA FÓSIL DE VALLECILLO,
NUEVO LEÓN**

47

5.1 Foraminíferos planctónicos, 48

5.2 Invertebrados, 50

5.2.1 Ammonites, 50

5.2.2 Pelecípodos, 51

5.3 Vertebrados, 52

5.3.1. Condrósteos, 52

5.3.2 Holósteos, 52

5.3.3 Teleósteos, 53

5.3.3.1 Orden Ichthyodectiformes, 53

5.3.3.2 Orden Aulapiformes, 54

5.3.3.3 Series Percomorfa, 55

5.3.4. Otros vertebrados, 56

5.4 Fauna no presente, 56	
5.4.1. Ichnofauna, 57	
5.4.2. Foraminíferos bentónicos, 58	
5.5 Relaciones paleobiogeográficas de la fauna de Vallecillo, 58	
VI EDAD DE LOS SEDIMENTOS FOSILÍFEROS	60
6.1 Antecedentes, 61	
6.2 La edad de acuerdo con los foraminíferos planctónicos, 62	
6.3 La edad de acuerdo con los ammonites, 64	
VII ASPECTOS TAFONÓMICOS	66
7.1 Fossil-Lagerstätten. Definición y generalidades, 67	
7.2 Origen de los sedimentos de Vallecillo, 68	
7.2.1 Calizas litográficas, 69	
7.2.2 Génesis de Pirita/Goethita, 70	
7.3. Fauna de Vallecillo, 71	
7.3.1. Descripción de la preservación, 71	
7.3.1.1 Vertebrados (peces y tortugas), 71	
7.3.1.2 Invertebrados (Ammonites e Inocerámidos), 75	
7.3.2. Causas de la preservación, 77	
7.3.2.1 Composición química de los fósiles/ condiciones del medio, 77	
7.3.2.2 Descomposición orgánica ("Decay Processes"), 79	
7.3.2.3 Mineralización, 80	
7.3.3. Causas del aplanamiento en los ejemplares, 80	
7.3.4. Otras características de la fauna, 81	
7.4. Reconstrucción del episodio tafonómico en la cuenca de Vallecillo, 84	
VII DISCUSIÓN	85
X CONCLUSIONES	96

REFERENCIAS

98

APÉNDICES

106

APÉNDICE I. DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X

107

Análisis de roca completa, 108

Análisis de arcillas, 114

APÉNDICE II. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA DE LA FAUNA

120

DE VALLECILLO

AGRADECIMIENTOS

Antes de comenzar con esta interminable lista de agradecimientos, deseo señalar que este trabajo es el resultado tanto de la orientación como del apoyo de mis asesores y responsables directos del proyecto Vallecillo, Dr. José Guadalupe López Oliva (asesor interno), Universidad Autónoma de Nuevo León y Dr. Wolfgang Stinnesbeck (asesor externo) de la Universidad de Karlsruhe, Alemania, a quienes les doy mi más profundo agradecimiento.

Quiero dar mi más sincero agradecimiento al Dr. Thierry Adatte, de la Universidad de Nêuchatel, Suiza, por su valiosa participación y asesoría en el análisis e interpretación de los datos mineralógicos, y a Jose Richard (Universidad de Nêuchatel) por su orientación en la preparación de muestras para el análisis mineralógico.

De igual manera agradezco al Dr. Wolfgang Weiss, del Servicio Geológico Alemán BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), quien me dio consejos claves en la interpretación de las secciones delgadas utilizadas en el presente trabajo. También agradezco a Angelica Bruns, de la misma institución, por sus comentarios en la utilización del microscopio electrónico.

Agradezco profundamente a los Paleontólogos Alexandr Mudlock (Instituto de Paleontología y Geología, Universidad de Hannover, Alemania), Francisco Aranda (Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, México), Jesús Alvarado Ortega (Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de México), Michael y Pamela Everhart, y a Chris Fielitz (Museo de Historia Natural de Kansas, E.U.A.) por su valiosísima ayuda en la determinación taxonómica preliminar de la fauna de Vallecillo, así como el haberme facilitado literatura imprescindible para el desarrollo de esta tesis.

Expreso mi gratitud al Dr. Dieter Michalzik, catedrático del Instituto de Paleontología y Geología de la Universidad de Hannover, quien además de brindarme gran hospitalidad, me facilitó, entre otras cosas, el acceso a literatura importante para el desarrollo de esta tesis. De esta misma institución, quiero agradecer a Jens Stepphan, por sus consejos en las tomas fotográficas de las láminas delgadas.

Agradezco al Dr. Christian Spaeth de la Universidad de Hamburgo, por facilitarme buena parte del material bibliográfico utilizado en esta tesis.

También quiero agradecer a mi amigo, el Dr. Francisco Guillén Mondéjar, de la Universidad de Murcia, por su invitación a exponer este interesante trabajo en su institución, lo cual permitió recibir las primeras sugerencias que mejoraron la calidad del mismo.

En la Facultad de Ciencias de la Tierra, deseo expresar mi agradecimiento al comité de revisión de tesis, integrado por el Dr. José Antonio Arz, M.C. Tomás Cossío, Dr. José Guadalupe López, Dr. Francisco Medina y Dra. Ma. Teresa Orozco, por sus comentarios y sugerencias referente a los diferentes capítulos que componen esta tesis.

Por el apoyo, confianza y disposición en cuanto al material y literatura requerida para esta tesis, agradezco profundamente al Dr. Héctor de León Gómez, responsable del Laboratorio de Sedimentología de la facultad de Ciencias de la Tierra.

También debo agradecer el apoyo bibliográfico brindado desinteresadamente por el Dr. Juan Manuel Rodríguez Martínez.

La preparación tanto del material fotográfico como del material fósil, no hubiera sido posible sin la ayuda de Victoriano Beraza Cardona, Andrés Ramos Ledezma, Pedro Rodríguez Saavedra, Adalberto Treviño Cázarez y Gustavo González Avendaño, curadores profesionales que integran el Laboratorio de Preparación. A todos ellos les doy mi agradecimiento.

Del Laboratorio de Geoquímica agradezco la incondicional ayuda de Ana María Garza Castillo y de Federico Viera Decida, quienes sin su participación, el lavado y análisis de muestras no hubiera sido posible.

Agradezco de manera especial la ayuda de mi amigo, el Ing. César Cisneros Aldana, en la fase inicial de campo de este proyecto, así como sus buenos consejos en el procedimiento de algunos métodos de campo. También le doy las gracias al Ing. Rolando Peterson Rodríguez por su apoyo en cuanto a la parte de la geología estructural y al Ing. Enrique Prado Gómez por su disposición y ayuda en algunas cuestiones de cómputo.

Mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la concesión de la beca-crédito y al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) por proporcionar el financiamiento para la estancia académica en la Universidad de Karlsruhe.

Por último, quiero agradecer a la Corporación Volkswagen de Alemania por el financiamiento del Proyecto I/72888 "Fauna und Bildungsbedingungen der kreidezeitlichen Fossil-Lagerstätte Vallecillo in Nordost-Mexico" así como al Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) también por el financiamiento del proyecto 056CR14100 "Estudio de fósiles del Cretácico Tardío en la región de Vallecillo, Nuevo León y Candela, Coahuila.

RESUMEN

Yacimientos con fauna excepcionalmente preservada son conocidos como "Fossil-Lagerstätten". Estos yacimientos, proporcionan el registro más completo sobre eventos geológicos y biológicos de un momento particular, en el tiempo geológico.

En Vallecillo, Nuevo León (120 Km. al norte de Monterrey) aflora como miembro litológico de la Formación Agua Nueva, una secuencia de calizas litográficas de poco espesor (5-15 cm) y coloración rosa. Estas capas, se distinguen por su contenido fósil, el cual es diverso y bien preservado. Generalmente, la Formación Agua Nueva no se caracteriza por presentar macrofauna diversificada. Esto da a Vallecillo, su gran importancia paleontológica.

Las calizas de Vallecillo, alternan con secuencias de lutitas cafés de poco espesor (4-6 cm). Estas capas no presentan fauna fósil.

Las calizas litográficas consisten en "mudstone" calcáreo con laminación paralela fina. La presencia de minerales de óxido de hierro (Goethita) tanto en las calizas como en las lutitas, la presencia de la laminación primaria, así como la naturaleza pelágica de los sedimentos, son el reflejo de que esta secuencia fue depositada en una cuenca anóxica de baja energía, situada en la parte externa de una plataforma.

Estudios mineralógicos muestran una variación en el contenido de calcita (análisis de roca completa). Esto sugiere que la secuencia de Vallecillo pudo ser el producto de ciclos de productividad y/o disolución de carbonato de calcio.

En cuanto a la fauna fósil, se han rescatado de las calizas litográficas, peces condrósteos del Orden Selachii (tiburones), peces holósteos del grupo de los picnodontos, así como representantes de los ordenes Ichthyodectiformes, Aulapiformes (familias Ichthyotringidae, Dercetidae y Enchodontidae) y Beryciformes (percomorfos primitivos). Fauna reptiliana también ha sido rescatada de estos sedimentos; ésta incluye dos ejemplares del Orden Chelonia (tortugas) así como discos vertebrales de un reptil aún no determinado.

Entre la fauna de invertebrados se reportan tres géneros de ammonoideos (*Spathites*, *Mammites* y *Collignonicerias*), además de pelecípodos inocerámidos. Esta fauna (a excepción de inocerámidos), junto con la fauna vertebrada, fue de hábitos pelágicos/nectónicos, lo que sugiere un origen alóctono. Por otro lado, foraminíferos bentónicos e ichnofauna en general, no son reportados para las calizas de Vallecillo.

Diferencias en el tipo de preservación son observadas entre invertebrados y vertebrados. Mientras en los primeros se observan conchas parcial o totalmente disueltas, en los segundos, las partes duras muestran su composición original, o están parcialmente reemplazadas. Con esto se infiere que las calizas fueron depositadas en un medio ácido (pH bajo), además de la baja concentración de oxígeno.

De acuerdo a la fauna ammonoidea, y a la presencia de cinco especies de foraminíferos planctónicos (*H. delrioensis*, *H. globulosa*, *W. archaeocretacea*, *W. brittonensis* y *W. paradubia*) una edad de Turoniano fue asignada a los sedimentos fosilíferos.

Es posible que las condiciones anóxicas en Vallecillo son consecuencia de tres eventos oceanográficos 1) formación de una depresión en la zona externa de una plataforma, 2) presencia (hacia el sur de la cuenca) de un elemento positivo (Picachos?) que sirviera de barrera y 3) cambios eustáticos durante el Turoniano.

PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

1.2 Objetivos

1.3 Metodología

1.1 Introducción

Faunas excepcionalmente conservadas son conocidas como "Konservat-Lagerstätten". La información que nos proporcionan estas faunas poco comunes incluyen detalles de especies extintas que no se preservan bajo condiciones normales. Estos depósitos proveen el registro más completo de diversidad y ecología de la vida en un momento en particular del tiempo y espacio geológico (Briggs y Gall, 1990).

En México, una de las pocas localidades de preservación extraordinaria es el sitio de Tlayúa, en Tepexi de Rodríguez, Puebla. En este lugar, en calizas del Cretácico Inferior de hace aproximadamente 105 millones de años (Aptiano-Albiano), se ha encontrado fauna fósil con más de 50 géneros de peces holósteos y teleósteos, reptiles, plantas e invertebrados (Applegate y González Rodríguez, 1990). Cerca de 4000 fósiles del Cretácico Superior y del Terciario han sido colectados en esta localidad desde 1980 (Applegate, 1987; 1988; Pantoja-Alor, 1992; Magallón-Puebla y Cevallos-Ferriz, 1993;1994).

Una localidad fosilífera con una fauna preservada de manera similar a la de Tlayúa, pero del Cretácico Superior, ha sido reportada en el estado de Nuevo León. En el municipio de Vallecillo, localizado aproximadamente a 125 kilómetros al norte de Monterrey, se han encontrado calizas litográficas (capas aplanadas, tabulares y espaciadas a intervalos centimétricos, según Hemleben y Swinburne, 1991) con fauna bien preservada y diversificada. Estas rocas afloran en canteras que se explotan con fines comerciales.

Entre la fauna fósil encontrada en estas canteras destacan peces con preservación de aletas y partes blandas. Este aspecto, además de la diversidad de la fauna reportada, da a esta localidad gran importancia científica. Hasta la fecha se han encontrado peces teleósteos, holósteos y condrósteos, además de tortugas marinas. También se han encontrado bivalvos inocerámidos y amonites. Ninguno de los vertebrados hallados en esta localidad ha sido reportado para sedimentos cretácicos de Nuevo León u otros lugares de México (Stinnesbeck, comunicación personal).

Los sedimentos fosilíferos de Vallecillo pertenecen a la Formación Agua Nueva (Turoniano-Coniaciano). Por lo general, dicha formación no presenta contenido microfósil, y se caracteriza por una alternancia de capas de lutita calcárea color grisáceo y estratos de potencia decimétrica de caliza color gris oscuro. En Vallecillo, los sedimentos fosilíferos consisten en bancos de pocos centímetros (<10cm) de calizas micríticas de coloración rosada y lutitas de poco espesor.

1.2 Objetivos

Con base a la información ya mencionada, se plantean para el presente trabajo los siguientes objetivos:

1. Realizar un inventario paleofaunístico parcial de la zona de estudio.
2. Aproximar la edad bioestratigráfica de los sedimentos con base a foraminíferos planctónicos y/o amonites.
3. Reconstruir el paleoambiente de los depósitos con base a datos sedimentológicos y faunísticos.
4. Reconstruir las posibles relaciones paleogeográficas de la fauna de Vallecillo con faunas coetáneas de Texas y Kansas, E.U.A.

1.3 Metodología

El presente trabajo fue desarrollado en dos etapas:

A) Campo.

1. Mapeo geológico (8km²) del área de estudio a escala 1:10,000.
2. Levantamiento de una columna estratigráfica y muestreo de alta resolución (2-5cm entre cada muestra) en las capas fosilíferas de Vallecillo.
3. Rescate de material macropaleontológico de las canteras de Vallecillo.

B) Laboratorio

1. Elaboración de láminas delgadas y estudio de microfacies de las muestras obtenidas en las canteras.
2. Análisis microfacial y micropaleontológico. Para la preparación de las muestras se utilizó una combinación tanto de métodos físicos (trituración de roca, uso de ultrasonido, uso de cribas, 64 y 45 micras) como químicos (H₂O₂ al 25%, detergente industrial). Posteriormente el material lavado fue examinado bajo microscopio estereoscópico.
3. Preparación e identificación preliminar del material macropaleontológico.
4. Elaboración de un catálogo registrando el material macropaleontológico rescatado.
5. Análisis mineralógico de las capas fosilíferas.

SOBREVISTA GEOLÓGICA

2.1 El noreste de México durante el Cretácico Tardío: litología y desarrollo paleogeográfico

2.1.1 Cenomaniano Inferior

2.1.2 Cenomaniano Medio-Turoniano

2.1.3 Coniaciano-Santoniano

2.1.4 Campaniano-Maastrichtiano

2.2 Aspectos generales sobre la tectónica en el Noreste de México

2.1 El noreste de México durante el cretácico tardío: litología y desarrollo paleogeográfico

El inicio del Cretácico Tardío en el noreste de México (Figura 2.1) está señalado por un cambio en el tipo de sedimentación (Wilson, 1987). Se termina la depositación de carbonatos de aguas someras que caracterizaron al Cretácico Temprano iniciándose un periodo de mayor influencia de terrígenos en aguas de mayor profundidad (Wilson, 1990).

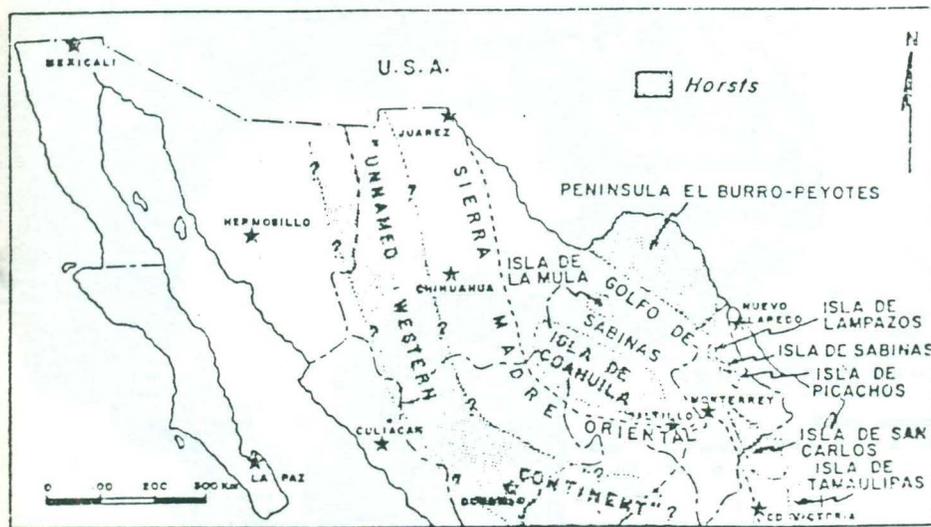


Figura 2.1. Principales provincias tecto-paleogeográficas del noreste de México (Modificado de Padilla y Sánchez, 1985).

2.1.1 Cenomaniano Temprano

Durante el Cenomaniano, predominan depósitos carbonatados en el noreste de México (Figura 2.2). En esta región, se depositaron principalmente calizas pelágicas con bandas de pedernal y lutitas pertenecientes a la Formación Cuesta del Cura (Stinnesbeck, 1992; Seibertz y Spaeth, 1995).

En la zona de plataforma de San Luis Potosí, tiene lugar el desarrollo de secuencias potentes de arrecifes (Figura 2.3). En esta región, las facies de plataforma interna y de arrecife (Formación el Abra) están representadas por calizas micriticas con miliolidos entre otros componentes, además de asociaciones de rudistas (caprinidos), corales, algas y otros formadores de arrecifes (Muir, 1936; Enos, 1974); mientras que las facies de cuenca

marginal (Formación Tamabra) está representada por micritas oscuras con bandas de pedernal y brechas con clastos provenientes de la plataforma (Carrasco, 1977; McFarland et al, 1991)

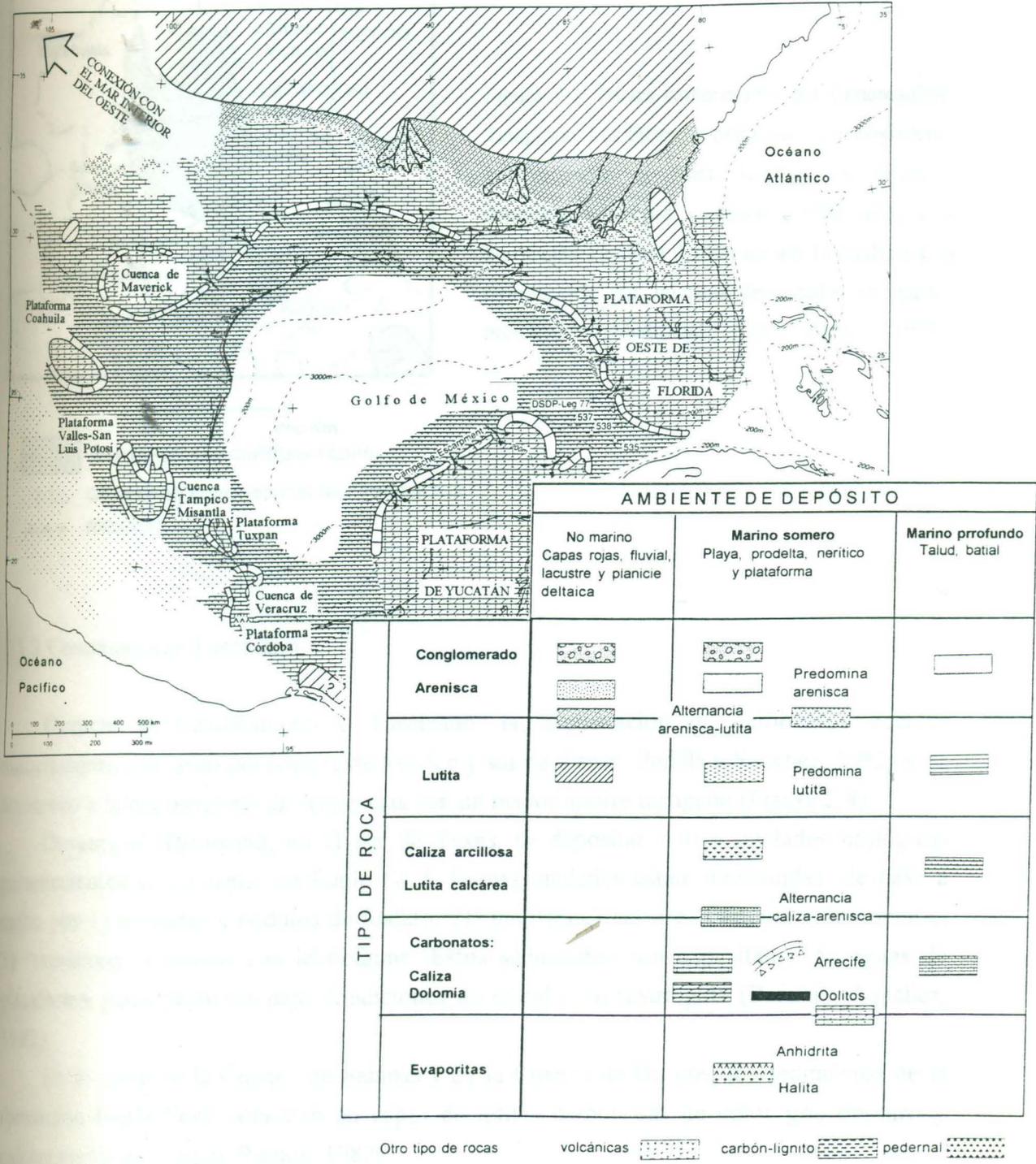


Figura 2.2. Mapa paleogeográfico y litofacies de la región del Golfo de México durante el Cenomaniano Inferior (Modificado de McFarland et al 1991).

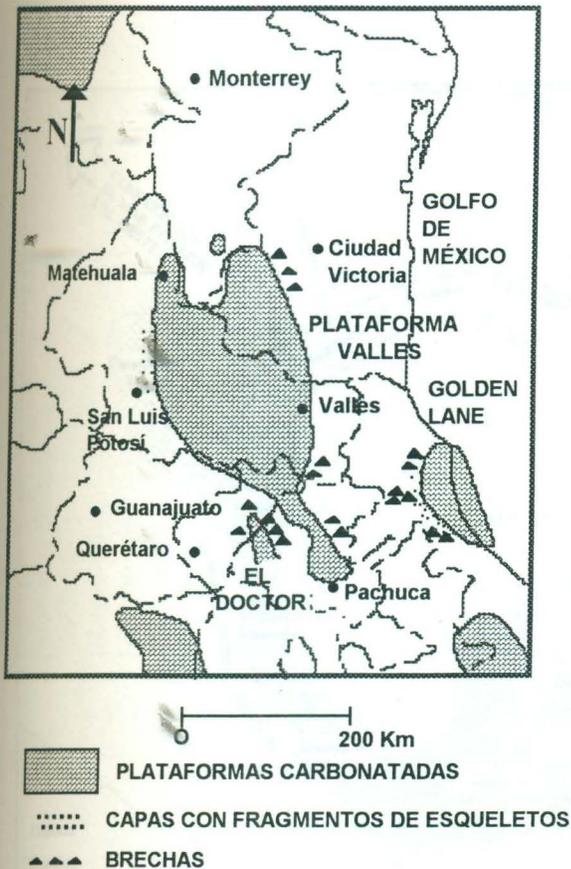


Figura 2.3. Facies carbonatadas del Cenomaniano Temprano. Las facies de plataforma corresponden a la Formación el Abra. Brechas, bioclastos y depósitos de cuenca marginal corresponden a la Formación Tamabra. La Formación Tamaulipas está representada por micritas depositadas en cuenca profunda. (Modificado de Enos, 1974).

2.1.2 Cenomaniano-Turoniano

Durante el Cenomaniano y Turoniano, la depositación de carbonatos decrece notoriamente a lo largo del noreste de México y sur de Texas (Padilla y Sánchez, 1982) y da comienzo a la depositación de secuencias con un mayor aporte terrígeno (Figura 2.4).

Durante el Turoniano, en el sur de Texas, se depositaron tres unidades litológicas pertenecientes a la Formación Eagle Ford. Dichas unidades están constituidas, de base a techo por 1) areniscas y nódulos de fosfato; 2) "mudstone" calcáreo, limolita y bentonita y; 3) "mudstone" calcáreo con ichtiofauna. Estos sedimentos son depositados en aguas de plataforma poco profunda bajo condiciones de circulación restringida (Padilla y Sánchez, 1982).

En el norte de la Cuenca de Sabinas y de la Cuenca de Burgos, los sedimentos de la formación Eagle Ford consisten en capas de lutitas carbonosas de color gris oscuro y calizas arcillosas (López-Ramos, 1982).

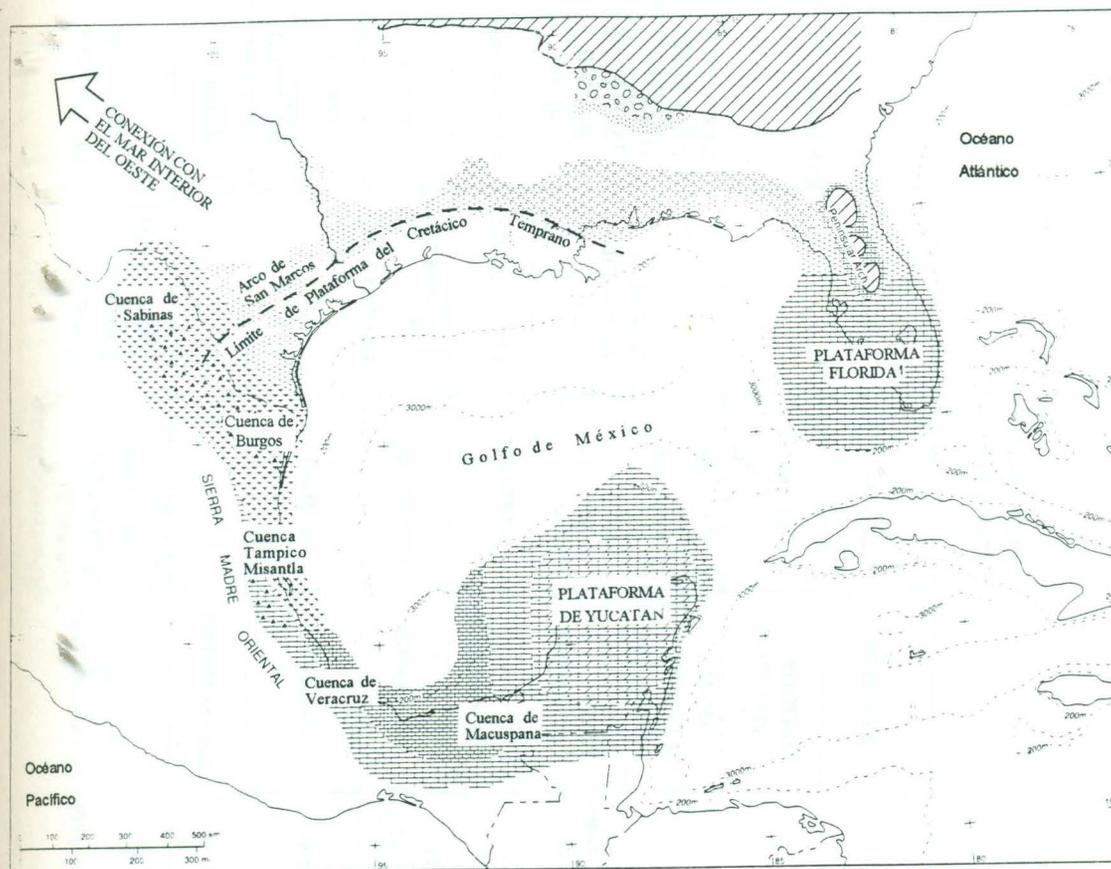


Figura 2.4. Mapa paleogeográfico y litofacies de la región del Golfo de México durante el Cenomaniano y Turoniano. Ver figura 2.2 para símbolos litológicos. (Modificado de Sohl et al, 1991)

Hacia el sur y este de la región noreste de México, se depositaron calizas micríticas alternadas con finas capas de lutitas calcáreas y, en ocasiones, con nódulos de pedernal. Estos sedimentos, característicos de la Formación Agua Nueva, fueron depositados en ambientes de plataforma externa y cuenca, parcialmente bajo condiciones euxínicas. (Seibertz, 1987).

De acuerdo a Muir (1936), y Enos (1974), la Formación Agua Nueva aflora desde la porción sur del noreste de México (Poza Rica, Plataforma Valles-San Luis) hasta su porción norte central (Sierra de Lampazos, Figura 2.5). También se ha reportado hacia la Cuenca de Burgos (Santiago et al, 1984), la Cuenca de Sabinas y las serranías de Picachos y Papagayos (López-Ramos, 1982; Schoenherr, 1988). Por otra parte, Kane (1936), Padilla y Sánchez (1982) y Sohl et al (1991) mencionan que es la Formación Eagle Ford y no Agua Nueva, la que aflora en esta porción del noreste mexicano.

PISO		Plataforma Valles-San Luis (Enos, 1974)	Poza Rica (Enos, 1974)	Querétaro-Jalpan-El Doctor. (Enos, 1974)	Cañón Peregrina (Enos, 1974)	Monterrey Sierra del Fraile (López-Oliva, comunicación personal)	Sierra de Lampazos (Muir, 1936)	Sur de Texas (Enos, 1974)	
TERCIARIO	Daniano	CHICONTEPEC	CHICONTEPEC		CHICONTEPEC			MIDWAY	
CRETACICO	Maastrichtiano	MENDEZ	MENDEZ	MEXCALA	MENDEZ	MENDEZ		NAVARRO	
	Senoniano	Campaniano						TYLOR	
		Santoniano	SAN FELIPE	SAN FELIPE		SAN FELIPE	SAN FELIPE	PAPAGAYOS	AUSTIN
		Coniaciano			SOYATAL			SAN JUAN	
	Turoniano	AGUA NUEVA	AGUA NUEVA		AGUA NUEVA	INDIDURA	AGUA NUEVA	EAGLE FORD	
	Cenomaniano	EL ABRA	CUESTA DEL CURA TAMAULIPAS SUP.	EL ABRA	CUESTA DEL CURA	CUESTA DEL CURA	TAMAULIPAS SUPERIOR	BUDA DEL RIO	
	Albiano				TAMAULIPAS SUPERIOR	AURORA		GEORGE TOWN EDWARDS	
	Aptiano		TAMAULIPAS SUP	OTATES		OTATES	LA PEÑA		GLEN ROSE
			OTATES						PEARSHALL
	Neocomiano	Barremiano				TAMAULIPAS INFERIOR	CUPIDO		SLIGO
		Hauteriviano	TAMAULIPAS INFERIOR	TAMAULIPAS INFERIOR					HOUSTON
		Valanginiano				TARAISES	TARAISES		
Berriasiano									

 ARENISCA

 LUTITA

 LUTITA CALCÁREA
CALIZA ARCILLOSA

 CALIZA MICRÍTICA O
CON ESTRATIFICACIÓN
DELGADA

 CALIZA MASIVA Y
GENERALMENTE
FOSILÍFERA

Figura 2.5. Correlación de Formaciones cretácicas del noreste de México y Texas, con especial atención en la Formación Agua Nueva (Modificada de Muir, 1936; Enos, 1974).

En algunas zonas de México, como por ejemplo, la Sierra de Picachos, se observan características transicionales entre las formaciones Agua Nueva y San Felipe. Es posible que en la Sierra de Picachos, la Formación Agua Nueva no haya sido depositada durante el Turoniano y parte del Coniaciano debido a un aumento en el aporte de terrígenos en la zona provocado por posibles levantamientos (Figura 2.6). Este evento dio lugar a la depositación temprana de los sedimentos de la Formación San Felipe (Bishop, 1970)

SISTEMA	PISO	SIERRA DE PICACHOS (BISHOP, 1970)	SIERRA DE TAMAULIPAS (HUMPHREY & DIAZ, 1964)	SIERRA DEL FRAILE (LOPEZ-OLIVA, COMUNICACION PERSONAL)
CRETACICO SUPERIOR	MAASTRICHTIANO	MENDEZ	MENDEZ	MENDEZ
	CAMPANIANO			
	SANTONIANO	SAN FELIPE	SAN FELIPE	SAN FELIPE
	CONIACIANO		AGUA NUEVA	INDIDURA
	TURONIANO			
	CENOMANIANO			
	ALBIANO SUPERIOR	CUESTA DEL CURA	CUESTA DEL CURA	CUESTA DEL CURA

Figura 2.6. Correlación de Formaciones cretácicas en la Sierra de Picachos, Nuevo León, y otras localidades del Noreste de México (De acuerdo a Bishop, 1970)

2.1.3 Coniaciano-Santoniano (Figura 2.7)

En la parte este de la Cuenca de Sabinas y en el norte de la Cuenca de Burgos se depositaron durante el Coniaciano y el Santoniano sedimentos del Grupo Austin. Estos depósitos consisten en una secuencia de calizas y lutitas calcáreas, la cual se vuelve más arcillosa hacia su límite superior, (Sohl et al, 1991).

Por otro lado, calizas arcillosas, calizas silicificadas, lutitas verdes, areniscas y finos horizontes de bentonita verde (Formación San Felipe) fueron depositados en todo el noreste de México.

Durante el Campaniano Temprano, se observa el desplazamiento de la línea de costa hacia el oeste de la Cuenca de Burgos (Figura 2.8). En general, todo el noreste de México muestra un incremento en el aporte de terrígenos durante los pisos Campaniano y Maastrichtiano. Comienzan a depositarse secuencias de margas verdosas, lutitas, capas finas de bentonita y capas delgadas de calizas arcillosas (Formación Méndez) reflejando ambientes de baja energía (Scott, 1984, López-Oliva, 1996;).

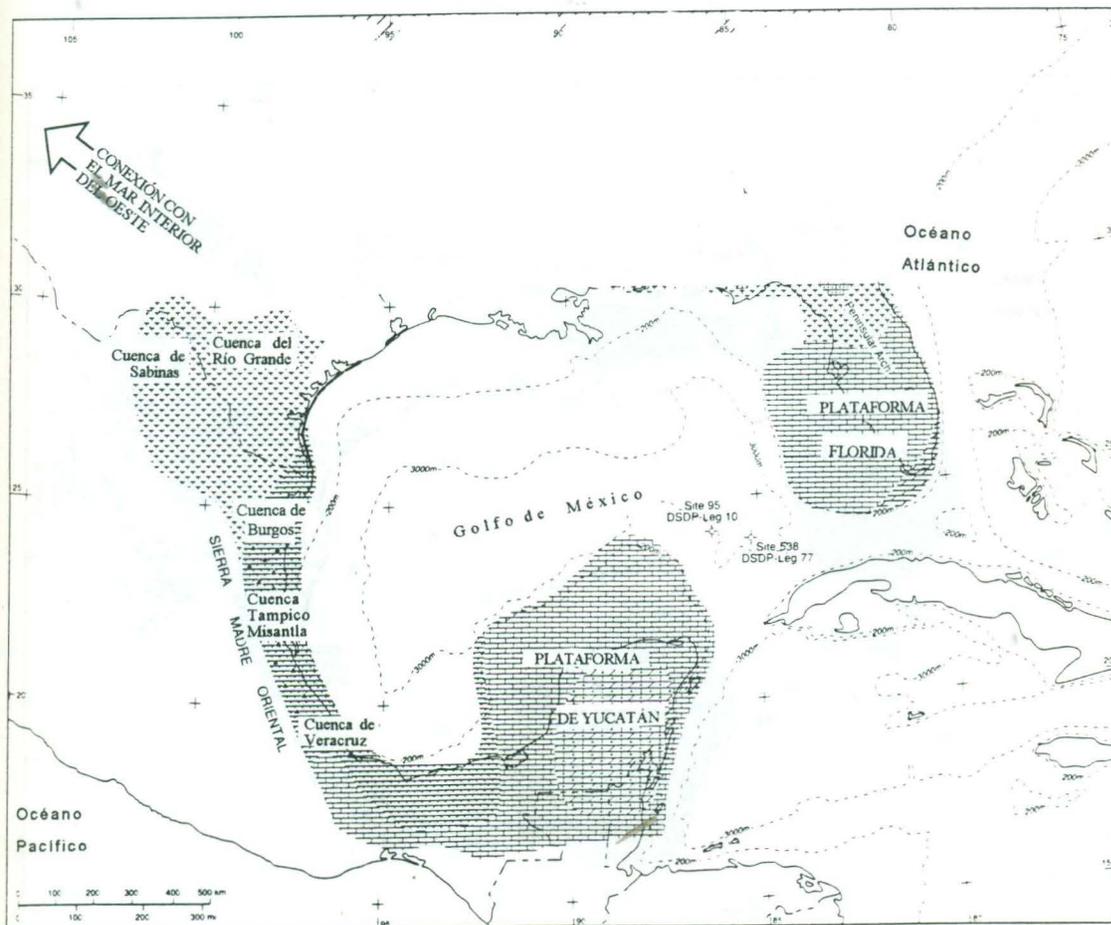


Figura 2.7. Mapa paleogeográfico y litofacies de la región del Golfo de México durante el Coniaciano y Santoniano. Ver figura 2.2 para símbolos litológicos. (Modificado de Sohl et al, 1991).

2.1.4 Campaniano-Maastrichtiano

Durante el Campaniano Tardío y el Maastrichtiano Temprano, sedimentos terrígenos como limolitas, lutitas, areniscas, capas rojas y lentes de carbonatos (Grupo Difunta) son aportados por sistemas deltaicos hacia cuencas sedimentarias (La Popa y Parras) localizadas en los límites este y oeste de Coahuila y Nuevo León respectivamente (Vega-Vera, 1987; Garza-Gutierrez, 1991).

Por otra parte, las capas arcillosas pertenecientes a la Formación Méndez, siguen depositándose durante todo el Maastrichtiano Weidie y Ward, 1987).

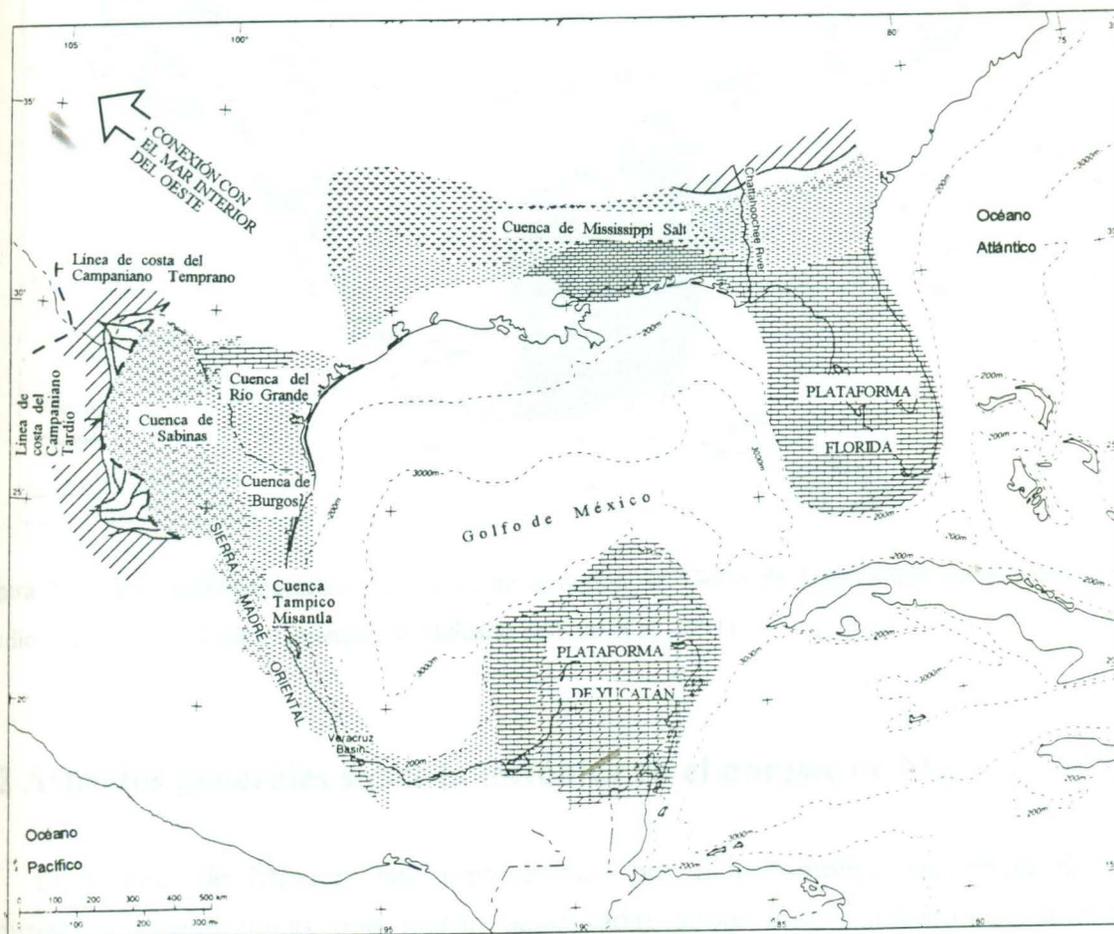


Figura 2.8. Mapa paleogeográfico y litofacies de la región del Golfo de México durante el Campaniano Inferior. Ver figura 2.2 para símbolos litológicos. (Modificado de Sohl et al, 1991).

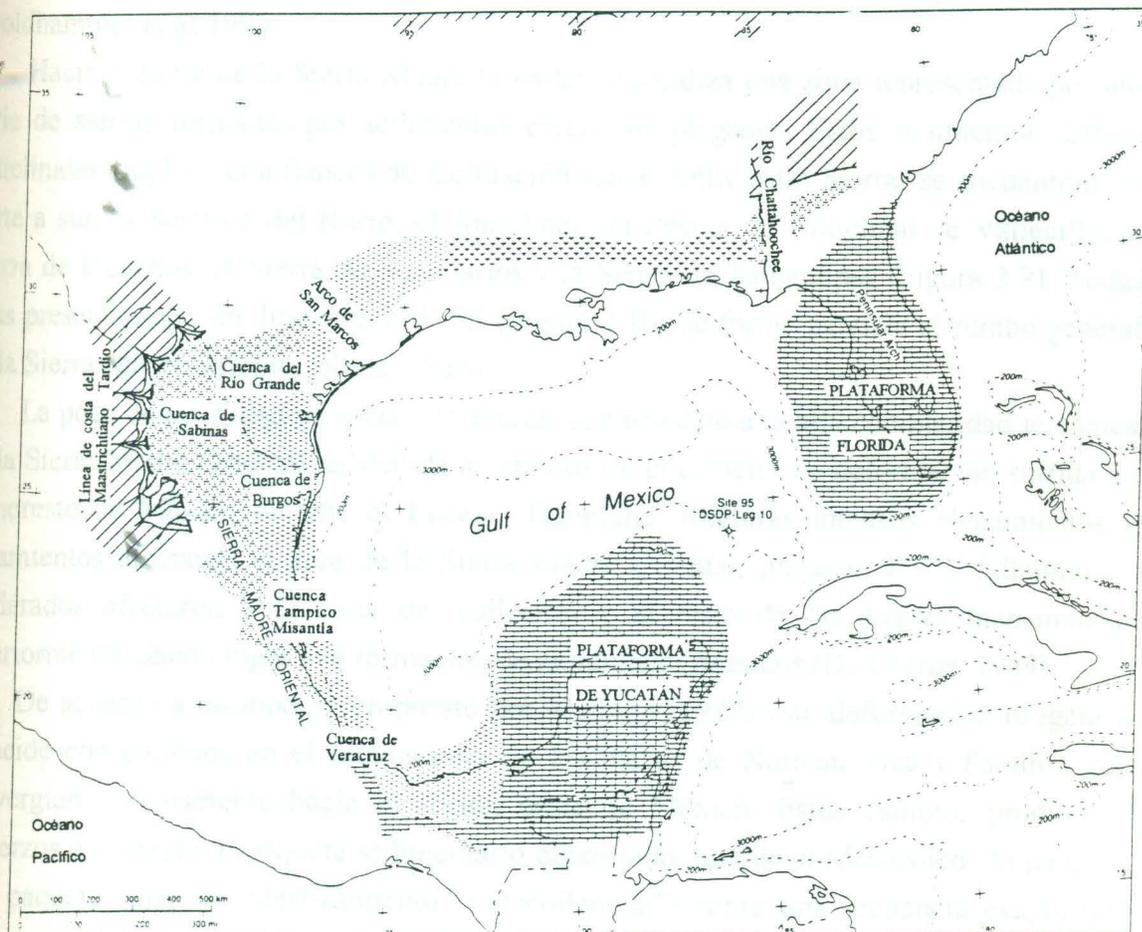


Figura 2.9. Mapa paleogeográfico y litofacies de la región del Golfo de México durante el Maastrichtiano Tardío. Ver figura 2.2 para Leyenda. (Modificado de Sohl et al, 1991).

2.2 Aspectos generales sobre la tectónica en el noreste de México

El noreste de México está representado por una compleja secuencia de rocas sedimentarias mesozoicas que fueron depositadas sobre un basamento precámbrico y paleozoico (Morán-Zenteno, 1994). La Sierra Madre Oriental es la principal unidad tectónica del noreste de México y se define como una secuencia compleja de sedimentos mesozoicos, los cuales fueron plegados, fallados y emplazados por intrusivos post-tectónicos (De Cserna, 1989). Esta unidad tectónica se extiende en dirección N30°W, pero cambia hacia el E-W entre Monterrey y Torreón (De Cserna, 1956).

Las estructuras predominantes en esta unidad morfotectónica son anticlinorios alargados en sus flancos con fuertes buzamientos en su plano axial. Estos pliegues generalmente están recostados hacia el norte y a menudo limitados por fallas cabalgantes (Goldhammer et al 1995).

Hacia el norte de la Sierra Madre Oriental se localiza una zona representada por una serie de sierras formadas por sedimentos cretácicos plegados. Estos sedimentos forman anticlinales amplios, con flancos de inclinación suave. Entre estas Sierras se encuentran, de norte a sur, la Serranía del Burro, el Anticlinal del Peyote, el Anticlinal de Vallecillo, la Sierra de Picachos, la Sierra de San Carlos y la Sierra de Tamaulipas (Figura 2.9). Todas ellas presentan ejes en dirección NW-SE (Figura 2.10) de forma paralela al rumbo general de la Sierra Madre Oriental (Kane, 1936)

La poca complejidad de estas estructuras, con respecto a la alta complejidad tectónica de la Sierra Madre Oriental, es debida a cambios en el carácter de deformación sufrida en el noreste de México durante el Eoceno Temprano. Mientras intensos plegamientos y fallamientos afectaron el área de la Sierra Madre Oriental, plegamientos y fallamientos moderados afectaron a la zona de Vallecillo y al resto de las sierras mencionadas anteriormente, dando lugar a la formación de anticlinales dómicos (De Cserna, 1989).

De acuerdo a un modelo propuesto por Meiburg (1987) esta deformación orogénica coincide con cambios en el movimiento de las placas de Norteamérica y Farallón que convergían oblicuamente hacia la región oeste de México. Estos cambios produjeron esfuerzos que afectó al paquete sedimentario depositado durante el Mesozoico. Al parecer, este paquete sufre un "deslizamiento" ("decollement") sobre una secuencia evaporítica depositada durante el Oxfordiano, la cual actuó como una base para las capas que la sobreyacen, produciendo de este modo, fuertes levantamientos y plegamientos (De Cserna, 1979)

Este periodo de actividad tectónica, fue seguido por el emplazamiento de elementos intrusivos de diferente composición hacia el fin del Eoceno. Diques y mantos de sienita, gabros y monzonitas de aproximadamente 28-30 millones de años. han sido localizados en la Sierra de San Carlos en Tamaulipas (Morán-Zenteno, 1994). Diques doleíticos, gabroides y dioríticos han sido reportados a lo largo de la Carretera Federal No. 85 en su trayecto Monterrey-Laredo, así como flujos de lavas, sienitas, dioritas y gabros en el norte de la Sierra de Picachos (Kane, 1936).



Figura 2.10. Esquema que ilustra las serranías (en negro) localizadas al norte de la Sierra Madre Oriental, noreste de México (modificado de Muir, 1936 y Bishop, 1970)

III

VALLECILLO, NUEVO LEÓN. ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS

3.1 Aspectos geográficos

3.1.1 Localización y vías de acceso

3.1.2 Vegetación e Hidrografía

3.1.3 Clima y Suelo

3.2 Mapeo geológico

3.2.1 Generalidades del área

3.2.2 Estratigrafía

3.2.3 Tectónica

3.1 Aspectos geográficos

3.1.1 Localización y vías de acceso

El municipio de Vallecillo (100°01' - 99°58' de Latitud Norte y 26°39' - 26°43' Longitud Oeste) se encuentra ubicado en la parte norte central del estado de Nuevo León, a aproximadamente 120 kilómetros de la ciudad de Monterrey. La principal vía de acceso es la Carretera Federal No. 85, que comunica la cabecera municipal de Vallecillo con Sabinas Hidalgo y Monterrey hacia el sur, y con Nuevo Laredo, Tamaulipas hacia el norte. Un camino de terracería comunica a Vallecillo con el área de las canteras donde afloran las capas fosilíferas. Esta área está localizada 3km hacia el oeste del poblado (Figura 3.1)

3.1.2 Vegetación

El tipo predominante de vegetación es el matorral submontano, y se encuentra presente en los lomeríos asociados con llanuras. (Figura 3.2). La zona también presenta matorral espinoso, matorral tamaulipeco, mezquital y pastizal.

Entre las especies presentes en el estrato superior figuran mezquite (*Prosopis glandulosa*), nopal (*Opuntia* sp), chaparro prieto (*Acacia amentacea*), huizache (*Acacia farnesiana*), cenizo (*Leucophyllum texanum*), palma (*Yuca* sp.) y pata de gallo (*Citharexylum* sp). En el estrato medio están presentes el chaparro prieto, el mezquite, la tullidora (*Karwinskia humboldtiana*), nopal, cenizo, huizache, gobernadora (*Larrea tridentata*), anacahuita (*Cordia boissieri*), uña de gato, (*Mimosa* sp) palma y oreganillo (*Lippia* sp.). En el estrato inferior se encuentran el tasajillo (*Opuntia leptocalis*), tullidora, nopal, zacate nativo (*Aristida* sp), chaparro prieto, trompetillo (*Solanum* sp), cenizo, mezquite y tronadora (*Ruella* sp), entre otras especies (INEGI, 1986).

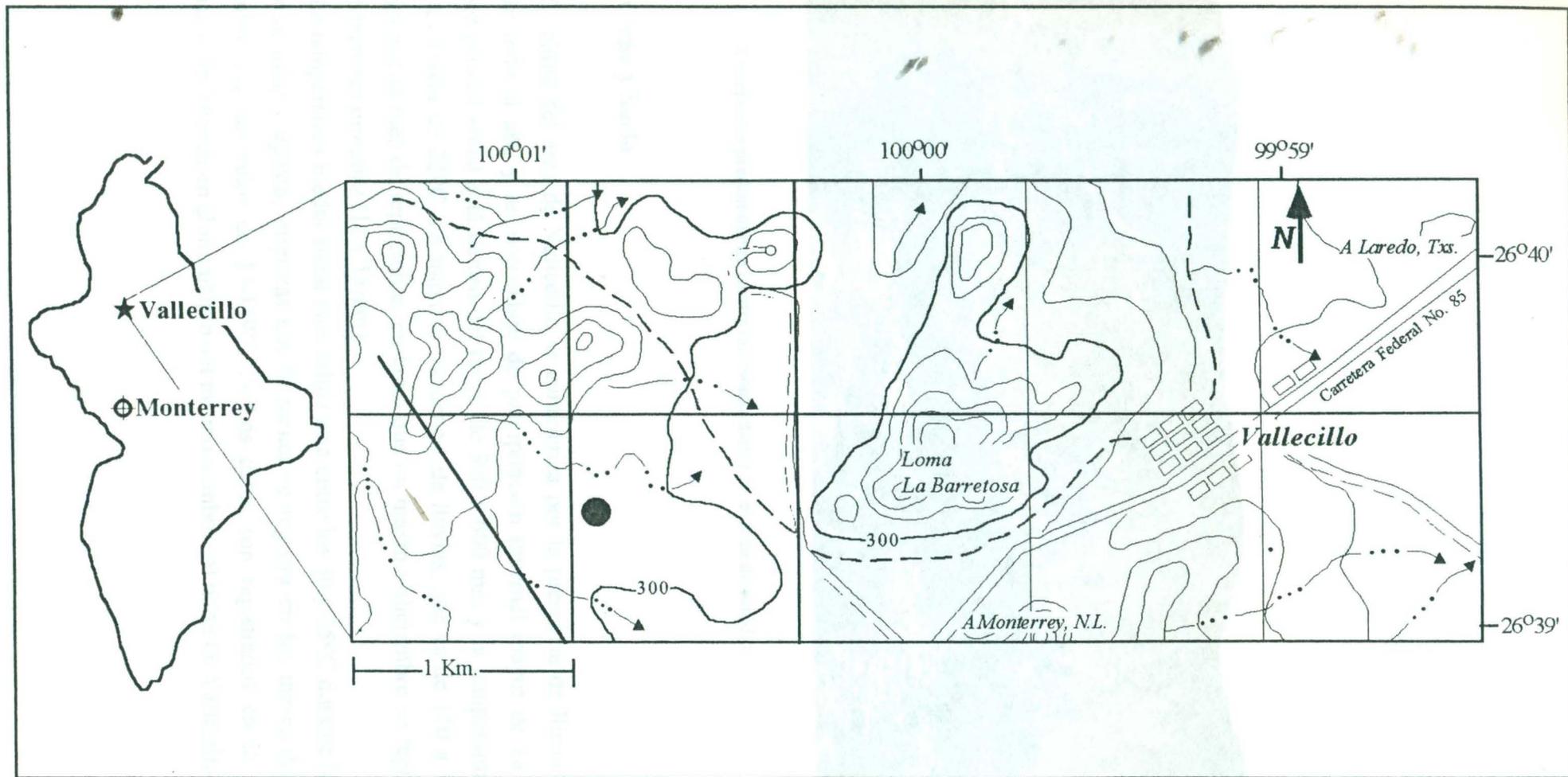


Figura 3.1. Localización de las canteras fosilíferas (círculo negro) dentro del municipio de Vallecillo, N. L. (Carta topográfica Sabinas Hidalgo-G14A66 y Carta Topográfica Vallecillo-G14A67. INEGI).

SW

NE

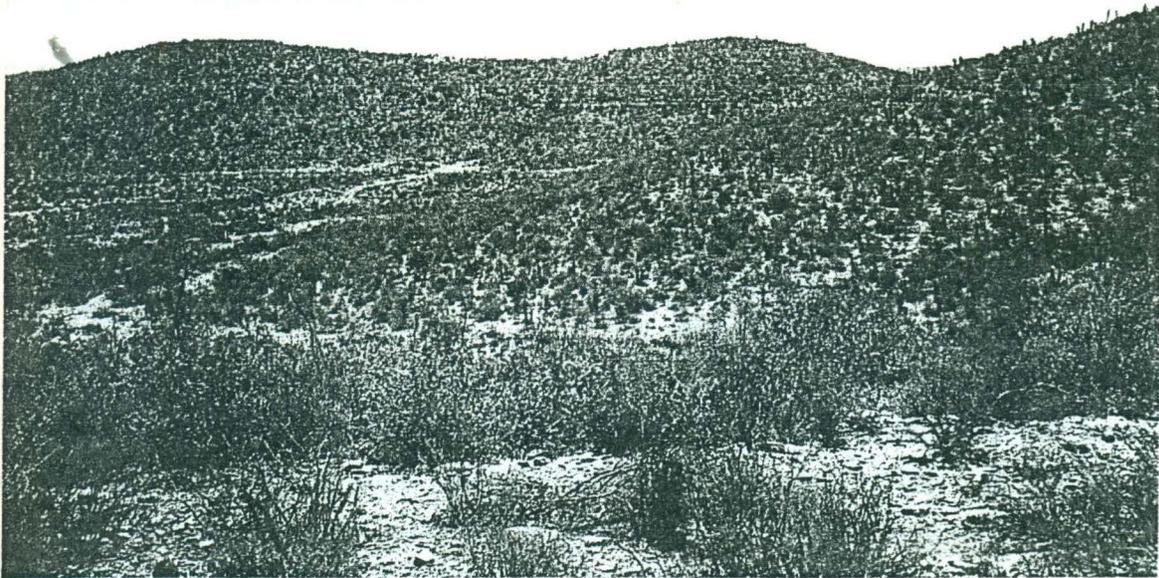


Figura 3.2. Vegetación predominante (matorral submontano) en el área de estudio.

3.1.3 Clima y Suelo

El clima del área de Vallecillo se caracteriza por la presencia de lluvias escasas durante todo el año y un porcentaje de precipitación invernal mayor de 18 mm. El régimen pluvial anual está dentro del rango de 300 a 600 mm y la temperatura media anual es mayor de 22°C. La máxima incidencia de lluvias, que va de 110 a 120 mm, corresponde al mes de septiembre; en tanto que en marzo y diciembre se registran las precipitaciones mínimas (10 y 15mm).

La temperatura media anual más cálida está entre los 30 y 35°C durante los meses de junio, julio y agosto; mientras que la menor se registra en los meses de enero y diciembre con un valor de 13-14°C. Dichos datos son registrados en la Estación Lampazos, localizada en el municipio del mismo nombre, al norte de Vallecillo.

La zona de Vallecillo presenta regosol calcárico como suelo predominante; en combinación con xerosol cálcico como suelo secundario. Su uso principal es para cultivo, en pequeña escala, de plantas de temporal (maíz y frijol). Este tipo de suelo, permite el desarrollo principalmente de matorral y cactáceas, las cuales se aprovechan para pastoreo de ganado caprino.

3.2 Mapeo geológico

3.2.1 Generalidades del área

La zona de estudio está representada por una serie de lomeríos de suave relieve que presentan una altitud máxima de 600 msnm y una mínima de 300 msnm. Esta área (8 Km²) se localiza a aproximadamente 3 kilómetros al oeste de la cabecera municipal, dentro de las coordenadas 26°39'-26°40' de Latitud Norte y 100°00'-100°04' Longitud Oeste. Comprende hacia el este, la zona del Ejido de Vallecillo, y hacia el oeste, la parte norte de los ranchos Las Jaras y El Coronel.

Las canteras de explotación comercial están localizadas en la porción suroeste del área de mapeo y es allí donde afloran los sedimentos de donde se extrae el material fósil.

3.2.2 Estratigrafía

En el área de estudio aflora solamente la Formación Agua Nueva, del Cretácico Superior. Las capas muestran similitudes, en su mayor parte, con características descritas para esta formación en el centro y sur del noreste de México (Padilla y Sánchez, 1978; 1982; Schoenherr, 1988; Sohl et al, 1991).

La Formación Agua Nueva fue definida por Stephenson en 1922 y posteriormente fue redefinida por Muir en 1936 como una secuencia de calizas con laminación fina y color gris oscuro, que alternan con lutitas laminares y lutitas calcáreas grises de estratificación media a delgada. Su localidad tipo se encuentra en el Cañón de la Borrega, municipio de Zaragoza, en el estado de Tamaulipas (Dávila, 1991).

En el área de mapeo se pudieron reconocer dos miembros litológicos y un elemento transicional de la Formación Agua Nueva, además de material cuaternario.

Miembro litográfico. Consiste en calizas litográficas rosas con estratificación variable (5-15cm) y con fauna fósil bien preservada. Estas calizas alternan rítmicamente con lutitas laminadas de estratificación centimétrica (2-6cm) y coloración café claro (Figura 3.3).

Este miembro aflora solamente en la sección sureste del anticlinal, presentando un espesor (en afloramiento) de aproximadamente 4m. Se encuentra sobreyacido concordantemente por calizas de estratificación media del elemento transicional.

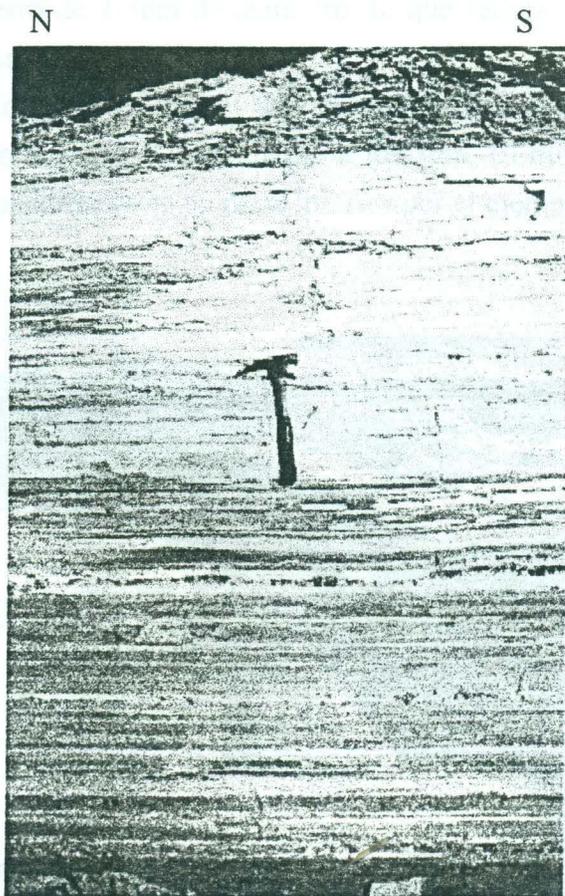


Figura 3.3. Miembro litográfico de la Formación Agua Nueva en el municipio de Vallecillo, N.L.
(Descripción en el capítulo del perfil)

Miembro no litográfico. Este miembro consiste en alternancias rítmicas de calizas micríticas de color gris oscuro con estratificación media (30cm) y laminación fina, y lutitas laminadas cafés de igual espesor (Figura 3.4). En este miembro, las calizas presentan nódulos de óxido de fierro (goethita) de diámetro variable (2-3cm).

El miembro no litográfico presenta escasa macrofauna. Entre ésta se reportan vértebras de un reptil marino y especímenes de ammonites. La presencia de ichnofauna ha sido detectada en este miembro.

Las capas arcillosas consisten en lutitas cafés de 30cm de espesor. Algunos estratos de lutita presentan horizontes con coloración marrón-rojiza de hasta 5cm de espesor y nódulos de fierro de 2-3cm de diámetro, lo que refleja un alto contenido de óxido de fierro en estas capas (Figura 3.5).

Este miembro aflora en casi toda el área de mapeo, con excepción de la sección sureste (ver mapa) y presenta un espesor superior a los 80m. El miembro no litográfico está limitado de forma concordante en su parte inferior por el elemento transicional.

NW

SE



Figura 3.4. Miembro no litográfico de la Formación Agua Nueva en el municipio de Vallecillo, N.L.

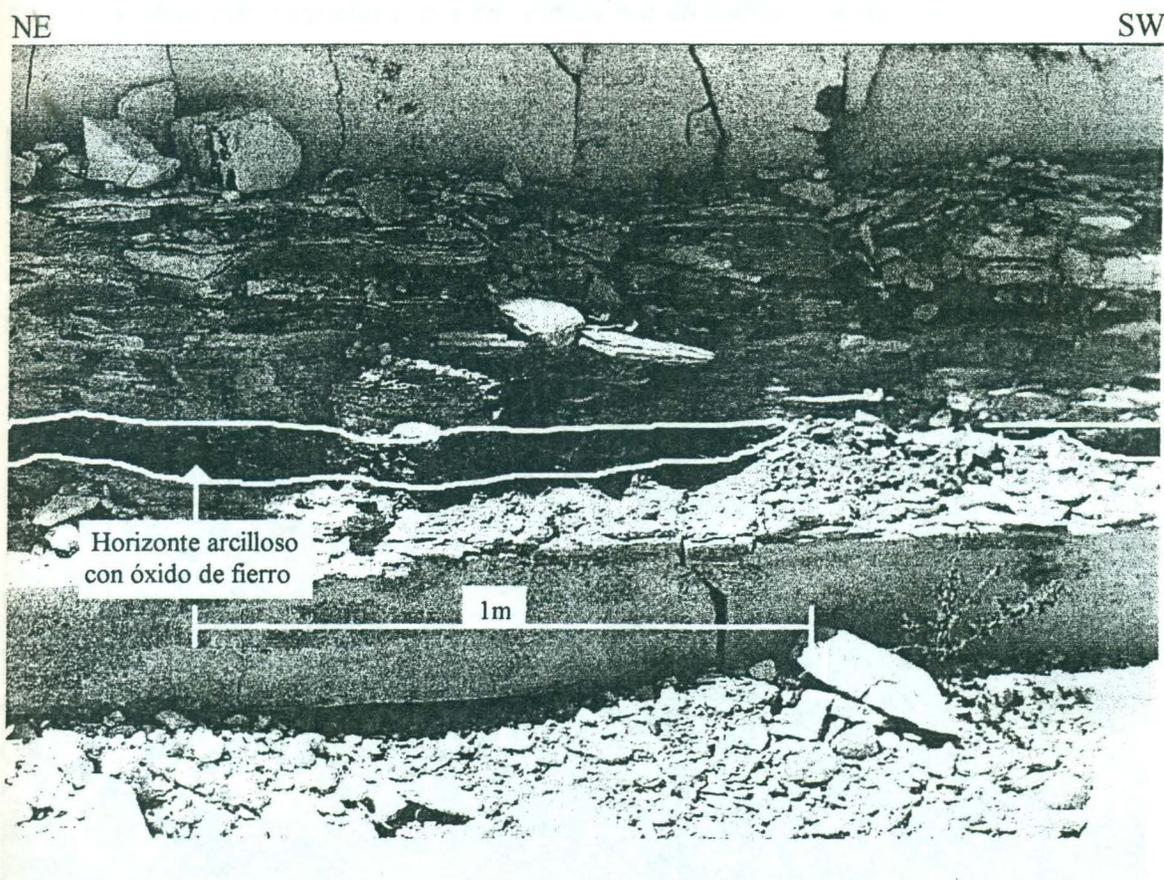


Figura 3.5. Horizonte arcilloso con alto contenido de óxido de hierro presente en el elemento no litográfico de la Formación Agua Nueva.

Elemento transicional. Características transicionales entre las unidades anteriormente descritas fueron observadas en dos afloramientos localizados aproximadamente a 500m norte y 300 m hacia el este del área de las canteras. En el afloramiento norte, este miembro consiste en aproximadamente 1.5 m de calizas micríticas de espesor decimétrico (20 cm) con coloración intermedia entre gris oscuro y rosado. Estas calizas presentan una laminación paralela fina. No se han encontrado fósiles en estas capas, tampoco evidencias de bioturbación o marcas de corriente. Las calizas alternan con capas de lutita laminada color café de 25cm de espesor.

Material cuaternario. En la planicie, los sedimentos cretácicos se encuentran cubiertos por depósitos cuaternarios. En el mapa geológico de la zona de trabajo, dicho material no se considera por presentar espesores menores a un metro. (Figura 3.6)

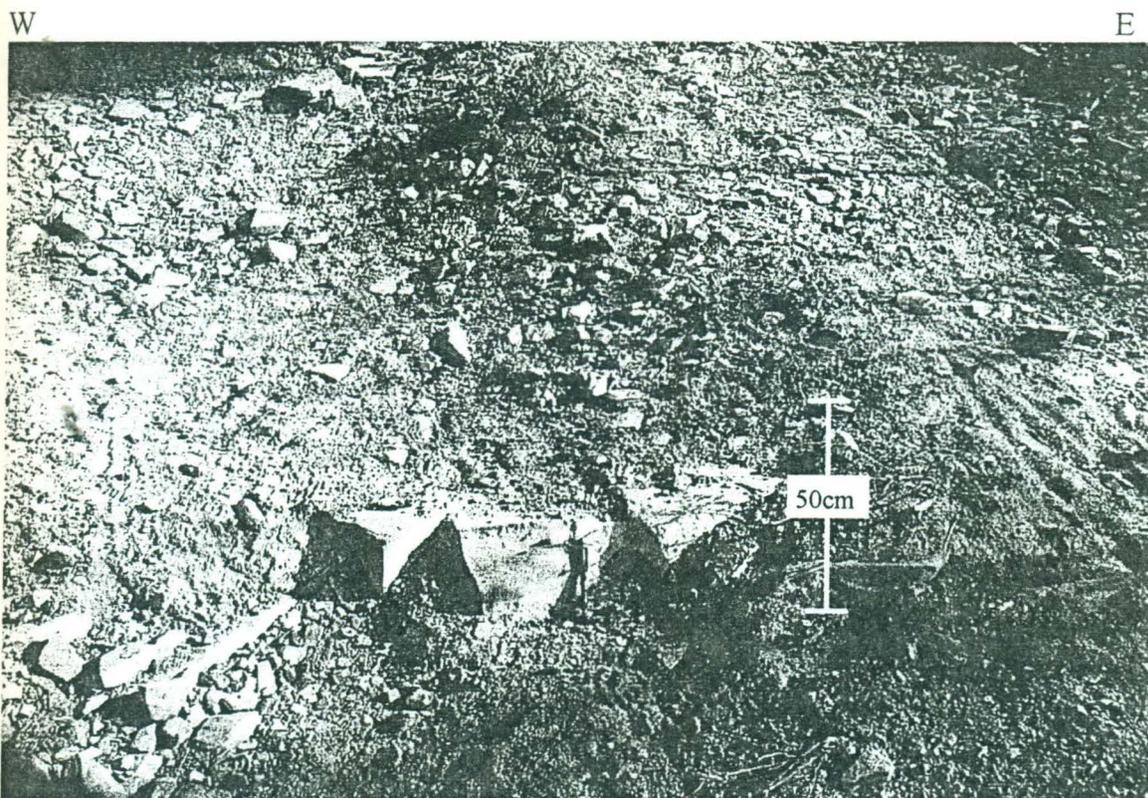


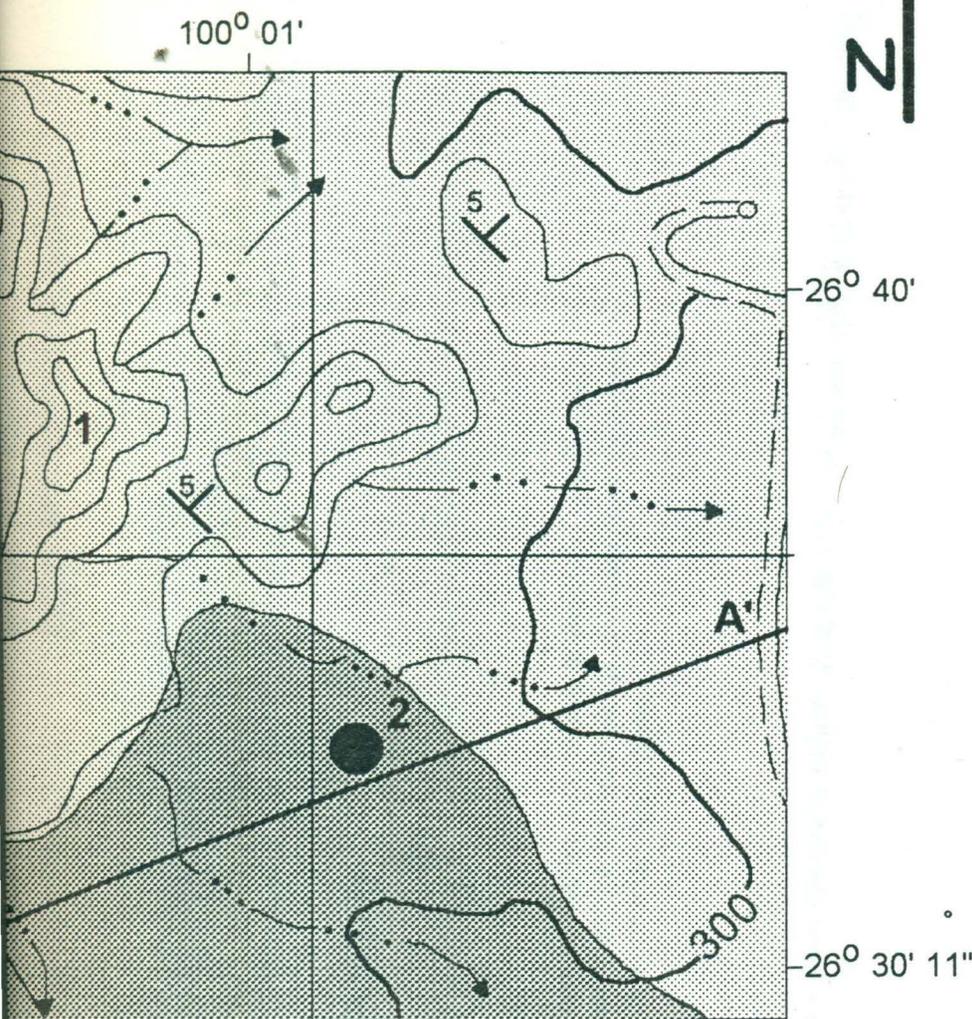
Figura 3.6. Sedimentos cuaternarios reportados para el área de estudio

3.2.3 Tectónica del área

El anticlinal de Vallecillo es un pliegue simétrico abierto (Figura 3.7 y 3.8.) con una dirección preferencial de su eje de $N42^{\circ}W$ y una inmersión de $N4^{\circ}W$. Sus flancos presentan buzamientos menores a 5° .

De acuerdo a las redes estereograficas ilustradas en la figura 3.7, se puede afirmar que las capas de la Formación Agua Nueva presenta dos sistemas de fracturas indicando una etapa de deformación en la estructura (Figura 3.9). La fase temprana de deformación

MAPA DEL ANTICLINAL DE VALLECILLO, N.L.



LEYENDA

TOPOGRAFÍA



Arroyos



Caminos



Cotas



Canteras
fosilíferas

GEOLOGÍA



Rumbo y buzamiento



Eje del anticlinal



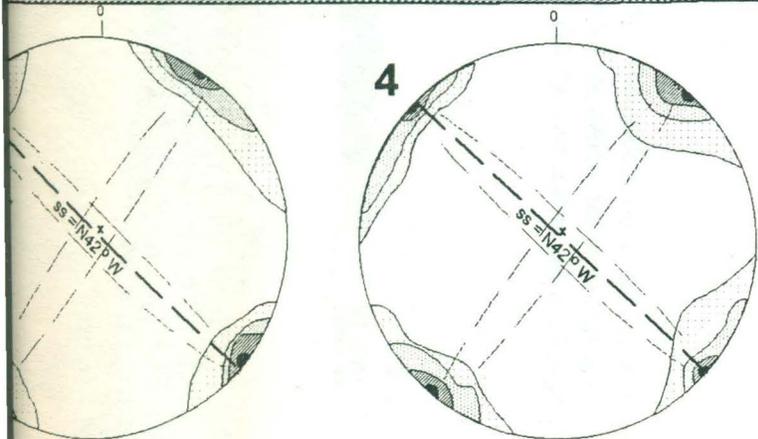
Caliza no litográfica



Caliza litográfica



Contacto inferido



22% 14% 7%

14% 10% 7% 3%

CARTA GEOLÓGICA DE VALLECILLO, N.L.
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
ALBERTO BLANCO PIÑÓN
15 IV 1998.



Vallecillo, N.L. El círculo negro señala el área de las canteras fosilíferas..

MAPA GEOLÓGICO DE LA PORCIÓN SUR DEL ANTICLINAL DE VALLECILLO

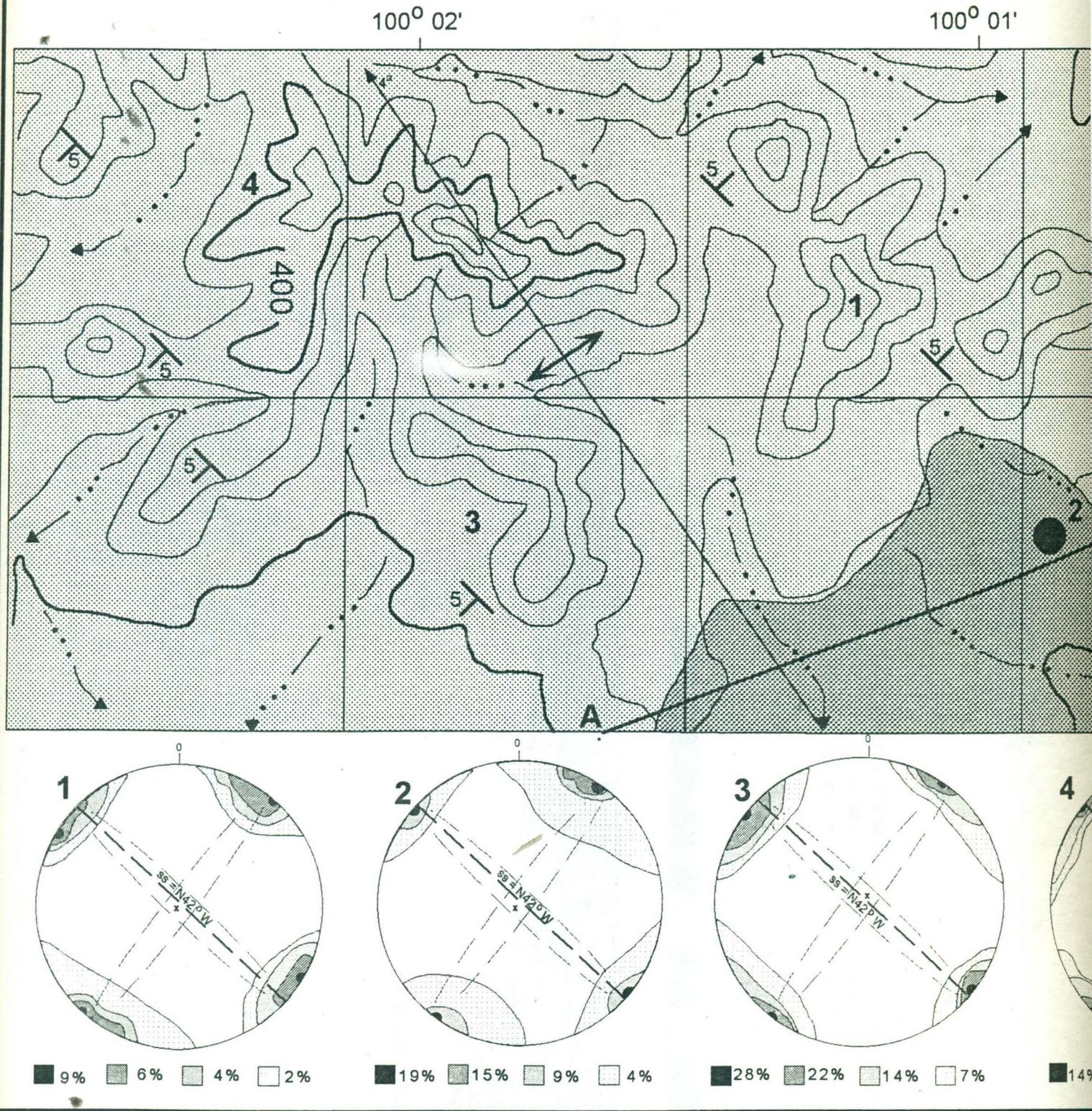


Figura 3.7. Carta Geológica de la región sur del anticlinal de Vallecillo. Vallecillo, N.L. El círculo negro

PERFIL GEOLÓGICO DE LA PORCIÓN SE DEL ANTICLINAL DE VALLECILLO.

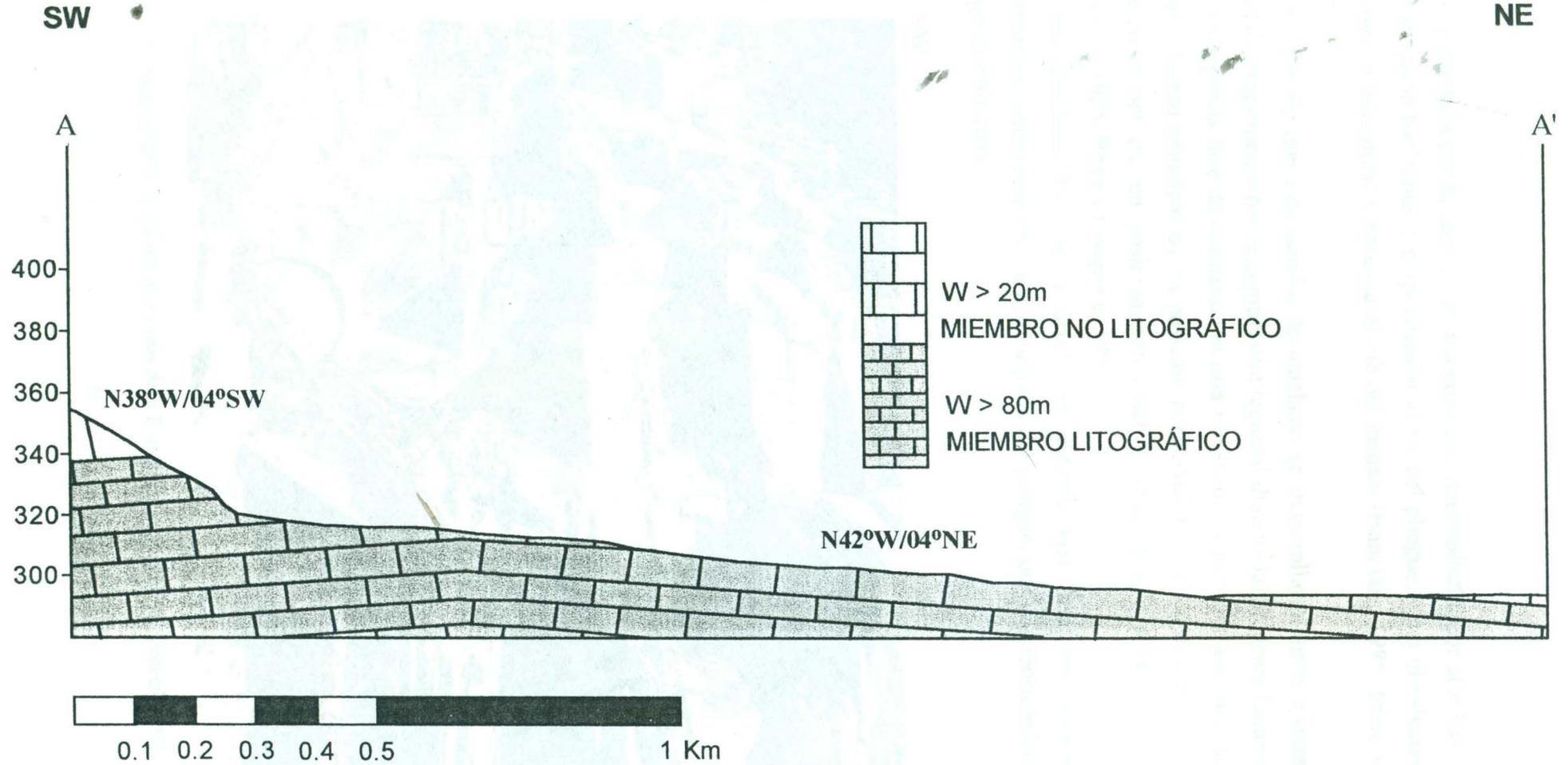


Figura 3.8. Perfil geológico de la porción SE del área de mapeo que ilustra la dirección preferencial y los buzamientos del anticlinal de Vallecillo. En este perfil se representan los dos miembros litológicos (miembro litográfico y miembro no litográfico) de la Formación Agua Nueva.

está representada por la familia de diaclasas a-c, desarrolladas por el esfuerzo principal σ_1 en posición horizontal y perpendicular al eje del pliegue, y por el esfuerzo menor σ_3 en posición horizontal y paralela al eje del mismo (Hanckok, 1985; Price y Cosgrove, 1990).

Es posible que esta familia de diaclasas se desarrollaron antes y durante la fase inicial de plegamiento por la compresión regional durante la Orogenia Laramídica.

La segunda fase de deformación está representada por diaclasas b-c, desarrolladas por el esfuerzo principal σ_1 en posición horizontal y paralelo al eje del pliegue, y el esfuerzo menor σ_3 , en posición horizontal y perpendicular al eje de la estructura (Hanckok, 1985; Price y Cosgrove, 1990).

Las diaclasas b-c, se desarrollaron durante una fase más avanzada de la deformación, como respuesta a la geometría del pliegue, por una reorientación local del campo de esfuerzos.

NW

SE

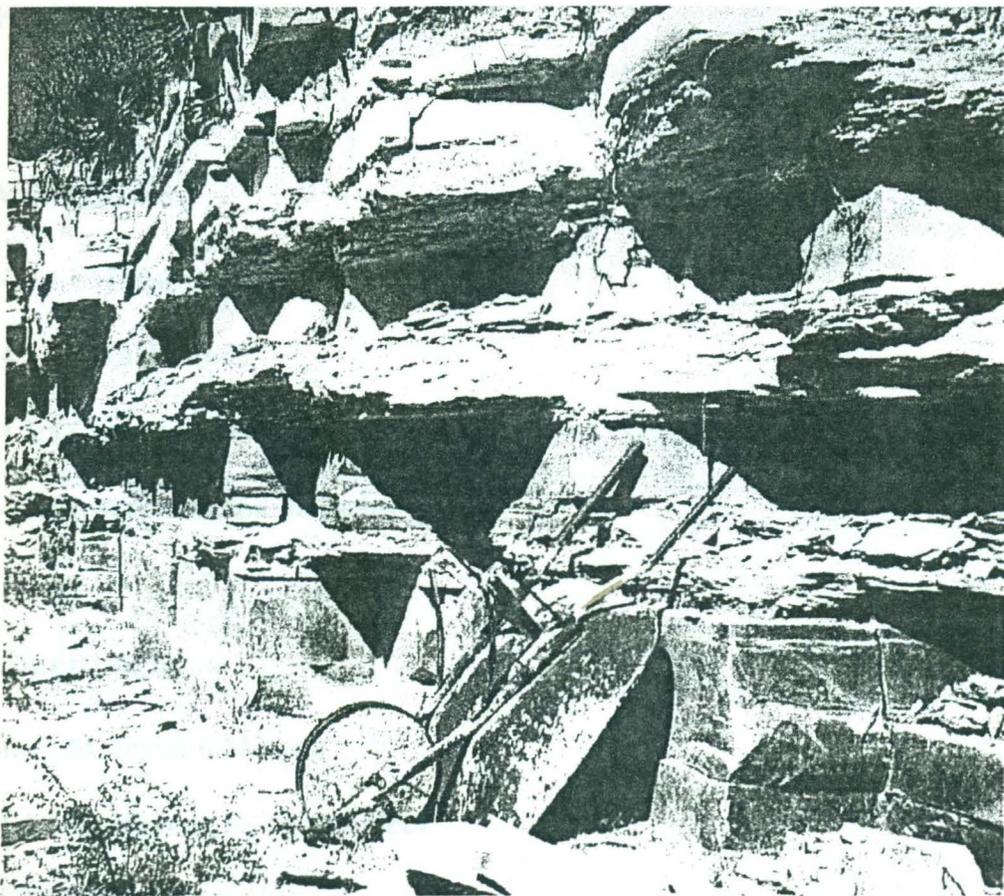


Figura 3.9. Diaclasamiento mostrado por capas de la Formación Agua Nueva, Vallecillo, N.L.

IV

CAPAS FOSILÍFERAS DE VALLECILLO, ESTADO DE NUEVO LEÓN

4.1 Antecedentes

4.2 Perfil litológico

4.3 Microfacies

4.3.1 "Mudstone"

4.3.2 "Wackestone"

4.3.3 Componentes

4.3.4 Interpretación de facies

4.4 Mineralogía

4.4.1 Material y Método

4.4.2 Análisis de Roca completa

4.4.3 Minerales arcillosos

4.1 Antecedentes

Las capas fosilíferas localizadas en el municipio de Vallecillo han sido explotadas comercialmente desde hace varios años por habitantes de la localidad. Dichas capas tienen la propiedad de fracturarse de forma paralela a los planos de estratificación formando lascas que son utilizadas en la construcción de fachadas y pisos de viviendas.

Durante la extracción de estas lascas, ejemplares fósiles eran encontrados con relativa frecuencia y "rescatados" por los trabajadores de las canteras. Parte de este material fósil ha sido guardado en un pequeño museo (Casa de la Plomada) localizado en la cabecera municipal (Figura 4.1). Este museo fue construido en 1984 por iniciativa del ayuntamiento de Vallecillo, y lamentablemente no cuenta con la suficiente infraestructura, organización y apoyo financiero para su pleno desarrollo. Por otro lado, una gran parte del material fósil ha sido vendido a instituciones o particulares, tanto dentro como fuera del país.



Figura 4.1. Museo de Historia. Vallecillo, Nuevo León.

Los continuos hallazgos en esta localidad fueron reportados hacia 1995 a la Facultad de Ciencias de La Tierra, la cual, a partir de ese año, ha iniciado un programa de estudio y rescate del material fosilífero. Posteriormente, dicho proyecto recibe el apoyo del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) y un año después, de la Fundación Volkswagen de Alemania. Actualmente, el material rescatado está siendo guardado en la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias de la Tierra donde está siendo estudiado y catalogado.

4.2 Perfil litológico

Las capas litográficas aflorantes en las canteras de Vallecillo, muestran un espesor aproximado de 4.10 m, de los cuales 3.5 m son continuos (Figura 4.2)

La columna consiste en calizas de estratificación centimétrica (aproximadamente 5-10 cm) a decimétrica (15 cm) de color rosado. Esta coloración es muy notoria en la parte basal del perfil, cambiando gradualmente a un tono gris rosado en la parte superior. Las calizas son de carácter litográfico, es decir, consisten en "mudstone" calcáreo con un porcentaje mayor al 65% de calcita y que además tiene la propiedad de fracturarse paralelamente al plano de estratificación formando lajas de pocos centímetros de espesor (Figura 4.3). Estas calizas presentan además, laminación fina (milimétrica). Dentro de estas capas se observan láminas de menos de un milímetro de espesor con tonalidad anaranjada y láminas de un milímetro de espesor con una tonalidad marrón. Esta coloración es consecuencia del óxido de hierro (Goethita) presente en estas capas, lo cual sugiere eventos de oxidación postsedimentaria o postdiagenética.

Las calizas de Vallecillo muestran un contenido fosilífero compuesto por diferentes grupos. Entre los ejemplares rescatados se encuentran peces (cinco órdenes), reptiles (dos órdenes), ammonites (tres géneros) e inocerámidos. Por otro lado, estructuras que revelen la presencia de actividad bentónica, tales como bioturbación, están ausentes. Tampoco se observan estructuras de corriente (laminación cruzada, rizaduras, etc).

Las calizas fosilíferas alternan rítmicamente con horizontes de 2-6cm de espesor de lutita laminar de coloración variable (predominantemente café claro). Algunas de estas capas presentan un acuñaamiento (no muy común) dejando en contacto las capas de caliza que las subyacen y suprayacen. Algunos de los horizontes arcillosos muestran una laminación interna con una ligera ondulación ("convolute bedding"). Estas capas presentan una coloración marrón rojizo, además de presentar nódulos de hierro (Goethita) de hasta un centímetro de diámetro y bandas de hasta 2cm de longitud (Figura 4.4). Ambas capas de lutitas no contienen fósiles.

Las características aquí descritas se mantienen constantes en cada una de las canteras de Vallecillo.

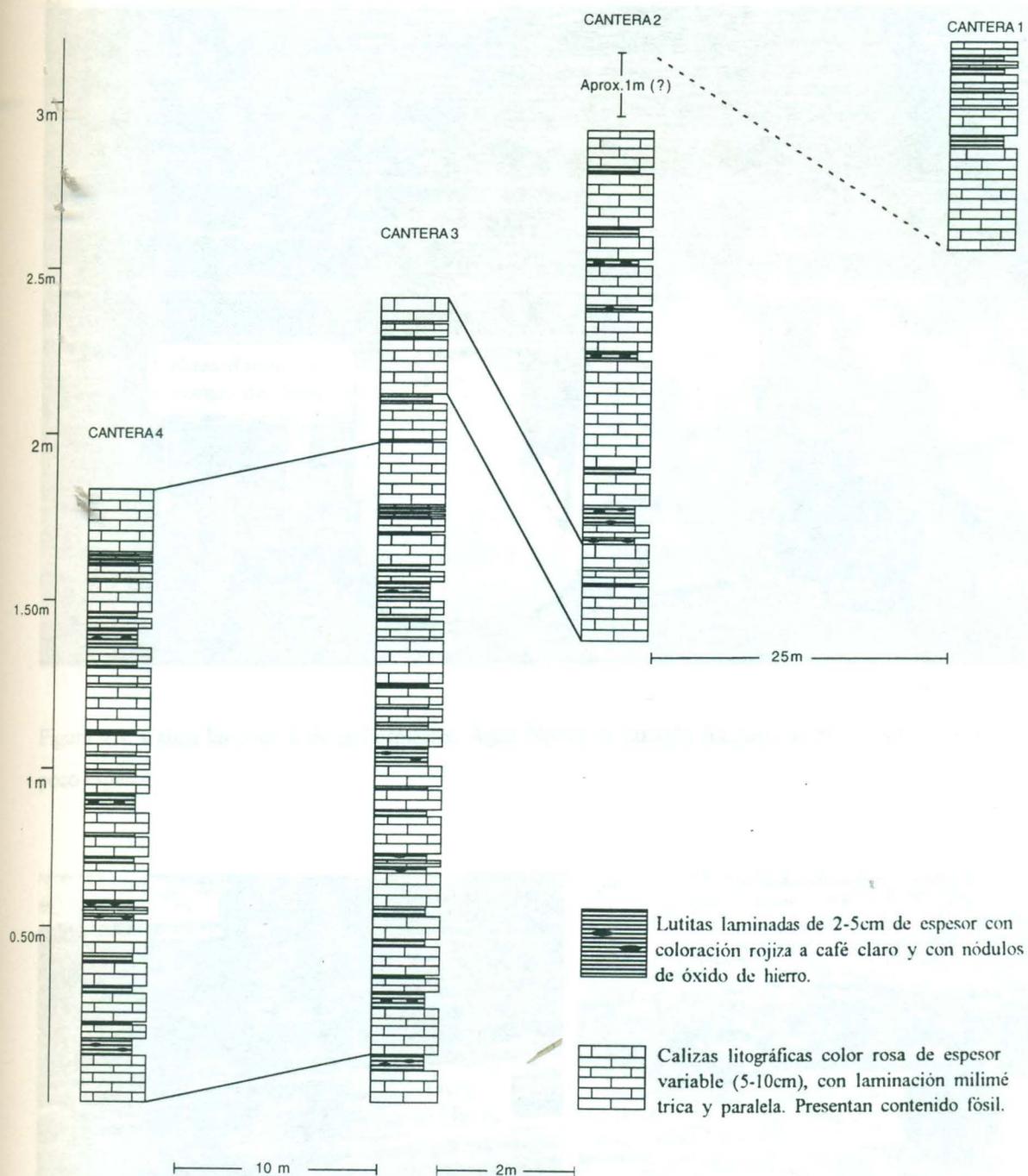


Figura 4.2. Perfiles estratigráficos de las calizas litográficas de la Formación Agua Nueva, Vallecillo, Nuevo León.

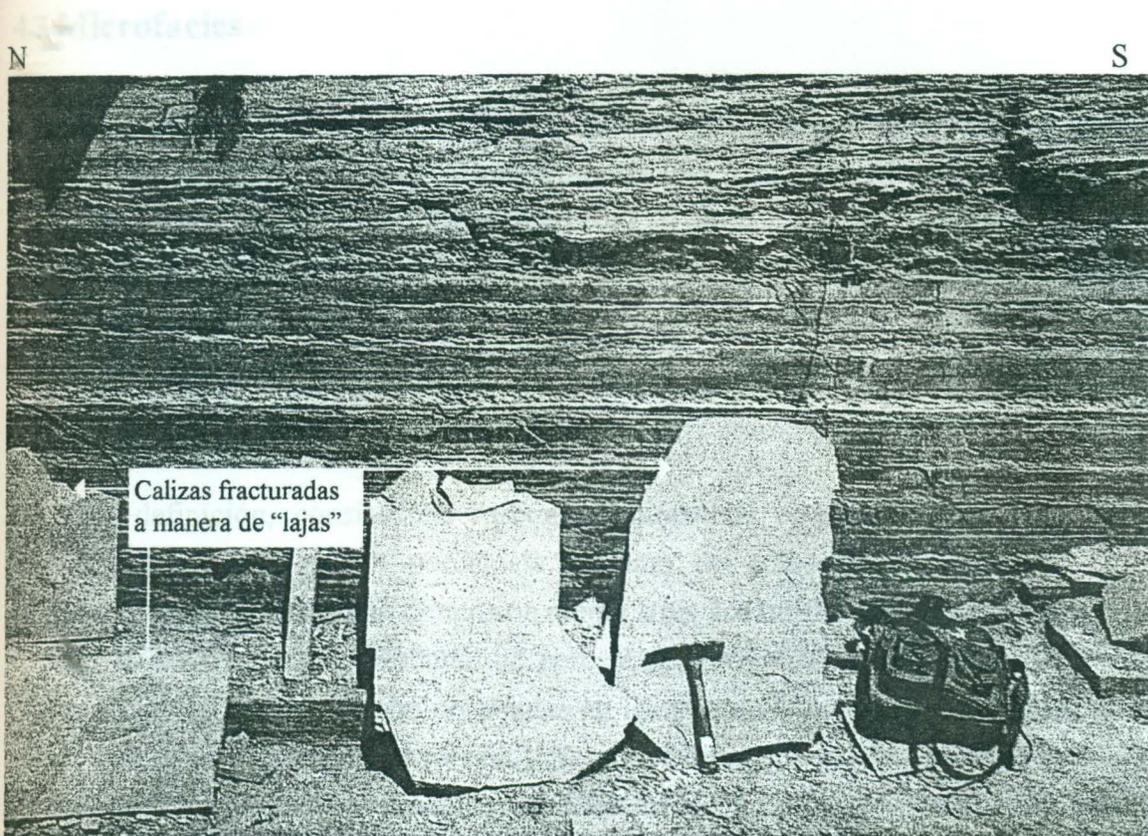


Figura 4.3. Caliza litográfica de la Formación Agua Nueva mostrando fracturamiento a manera de laja de poco espesor.



Figura 4.4. A) Nódulos y B) bandas de Goethita contenidos en lutitas del miembro litográfico de la Formación Agua Nueva

4.3 Microfacies

Un total de 54 láminas delgadas fueron elaboradas a partir de las calizas litográficas de Vallecillo. Estas calizas presentan una matriz micrítica; su contenido en bioclastos varía entre 5%-10% ("mudstone") hasta valores cercanos al 40% ("wackestone"). Dichas variaciones "mudstone-wackestone" ocurren de manera abrupta en diferentes niveles del perfil.

4.3.1 "Mudstone" (según Dunham, 1962)

Por definición, consiste en carbonatos alóctonos compuestos por una matriz micrítica la cual posee un porcentaje máximo de componentes del 10%. Estos componentes suelen tener una dimensión menor a los dos milímetros (Figura 4.5)

El 80% de las capas presentan un porcentaje aproximado entre el 5% y 7.5% de componentes. Estos valores son constantes en los primeros 2m de la sección, viéndose interrumpida por contenidos mayores a 10% en tres diferentes niveles de los últimos dos metros. Los componentes observados consisten en bioclastos provenientes en su mayor parte de foraminíferos planctónicos. Estos fragmentos tienen bordes redondeados y se encuentran afectados por disolución. En algunas láminas es posible observar huecos con calcita esparítica en su interior (Figura 4.6a).

4.3.2 "Wackestone" (según Dunham, 1962; Figura 4.6b)

El término "wackestone" es asignado a carbonatos alóctonos de matriz micrítica que presentan un porcentaje de componentes mayor al 10% y menor al 50%. Estos componentes tienen un tamaño menor a los dos milímetros (Figura 4.5). El "wackestone" representa un 20% del perfil de Vallecillo (11 muestras) variando el porcentaje de componentes en diferentes niveles del perfil.

La densidad de los componentes asciende abruptamente al nivel de los dos metros, cambiando la secuencia de "mudstone" con un 5% de componentes a "wackestone" con un 20%. Posteriormente el porcentaje aumenta a 40% a un nivel de 2.10m del perfil y vuelve a descender a 10% a los niveles de 2.15m, 2.30m, 2.90-3.00m y en menor grado a 3.30m (Figura 4.7).

4.3.3 Componentes

En los niveles superiores a los dos metros los componentes consisten principalmente en biomorfos y bioclastos de foraminíferos planctónicos. Géneros tales como *Hedbergella* y *Whiteinella* fueron encontrados a los 2m, 3m y 3.30m del perfil (figura 4.8).

Componentes originales no unidos orgánicamente durante la deposición				Componentes originales unidos orgánicamente durante la deposición				
Menos del 10% de componentes >2mm de diámetro			Más de 10% de componentes >2mm de diámetro		BOUNDSTONE			
Con fango carbonatado (partículas < 0.03mm de diámetro)		Sin fango carbonatado		No grano-sostenido	Grano sostenido	Organismos que actúan atrapando sedimentos	Organismos incrustantes que fijan el sedimento cubriéndolo	Organismos que construyen estructuras rígidas.
No grano sostenido		Grano sostenido						
Más del 10% de granos	Menos del 10% de granos							
MUD STONE	WACKE STONE	PACK STONE	GRAIN STONE	FLOAT STONE	RUD STONE	BAFFLE STONE	BIND STONE	FRAME STONE

Figura 4.5. Diagrama que ilustra la clasificación de carbonatos de acuerdo a Dunham (1962) Según este esquema, las calizas fosilíferas de Vallecillo quedan definidas como "mudstone" y "wackestone". (Modificado de Wilson, 1975).

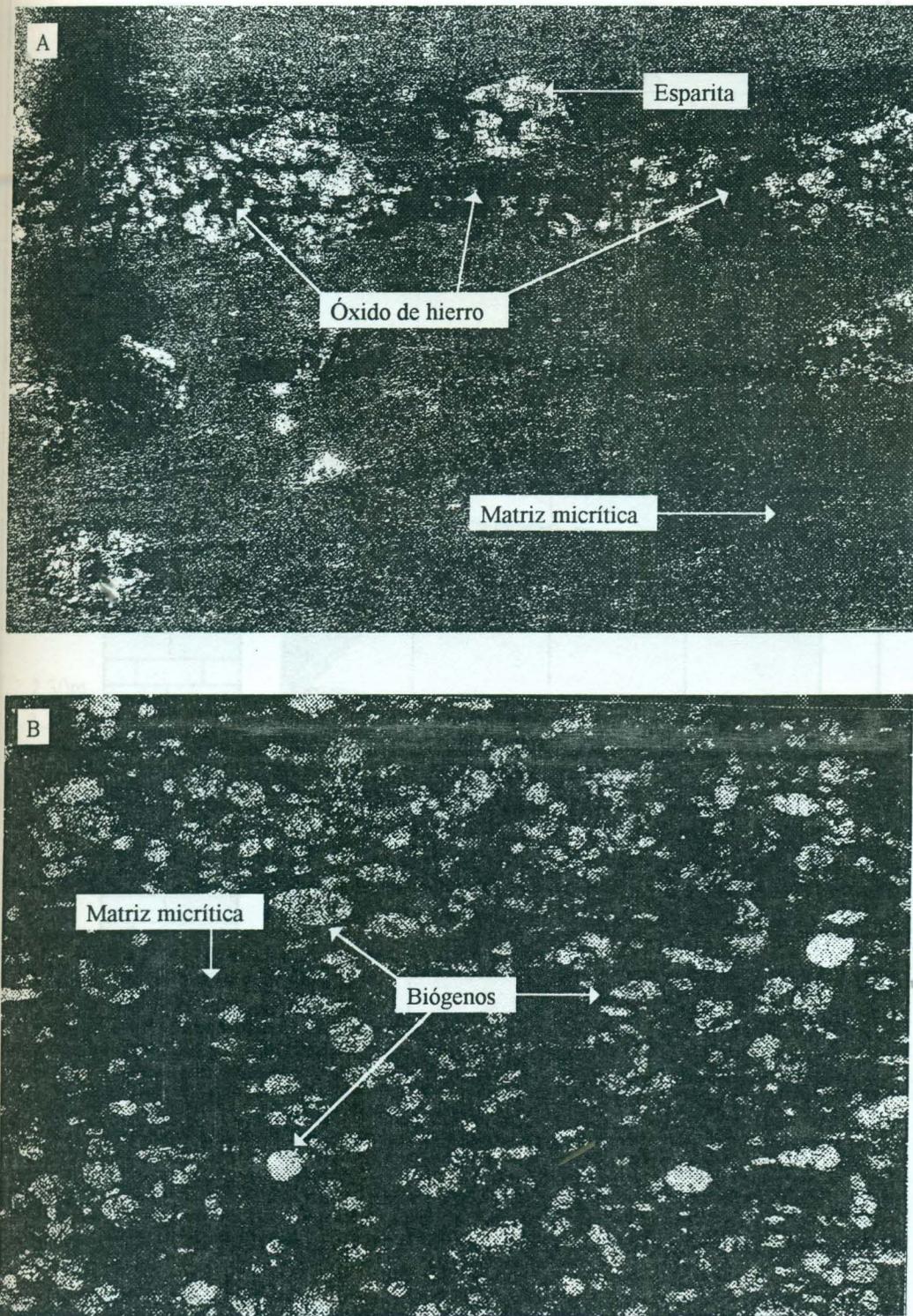


Figura 4.6. A) Mudstone calcáreo (5% de componentes) obtenido a un nivel menor a 2m del perfil. En esta figura se ilustra huecos rellenos por asparita. B) Wackestone (40% de componentes) perteneciente al nivel de los 2.9m del perfil (250X)

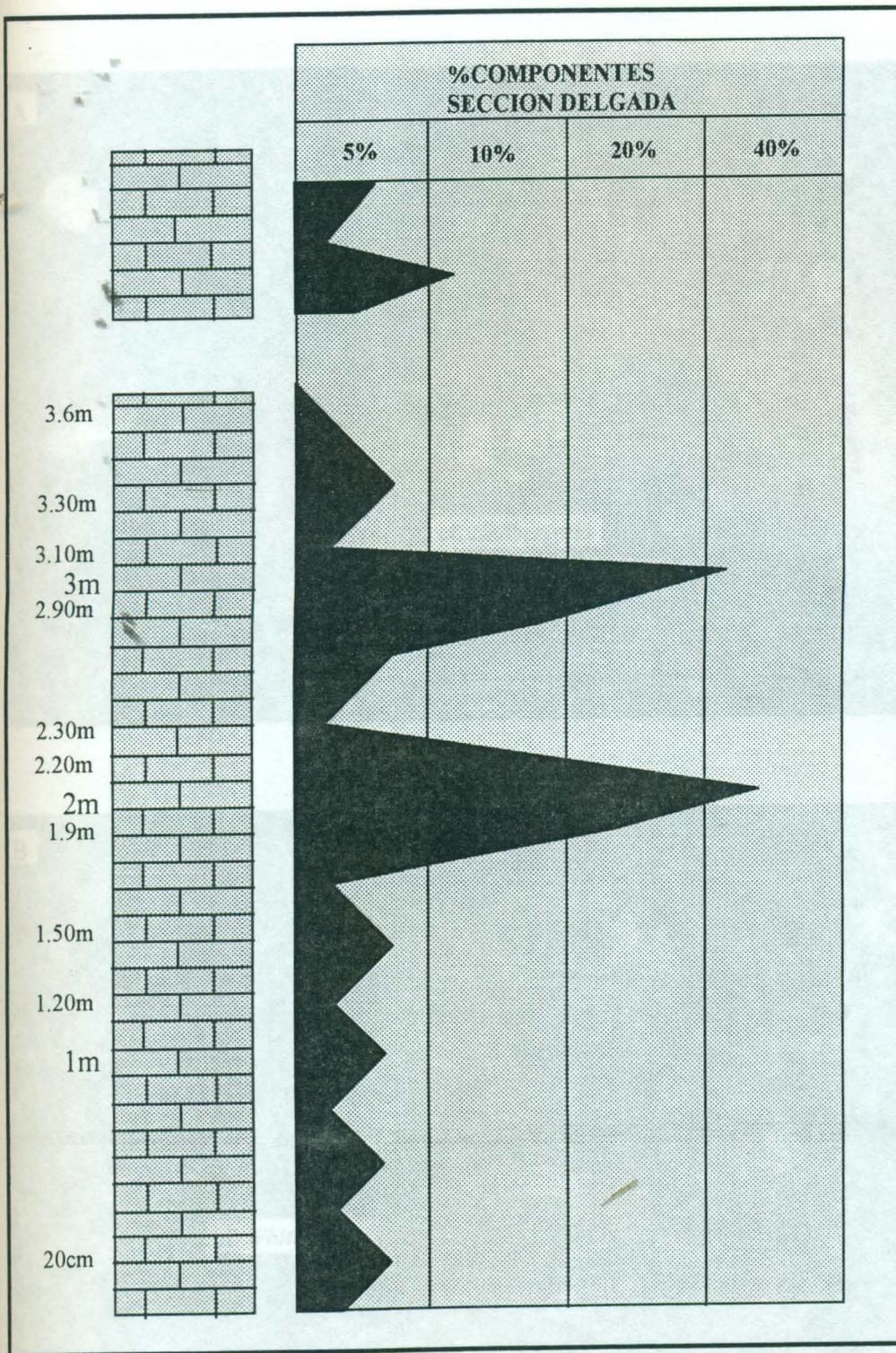


Figura 4.7. Esquema que muestra variaciones en el contenido de componentes en la roca a lo largo del perfil de Vallecillo.

Figura 4.8. Foraminíferos planctónicos. A) cf. *Neohargella*; B) cf. *Wuellerstorfi* (250X)

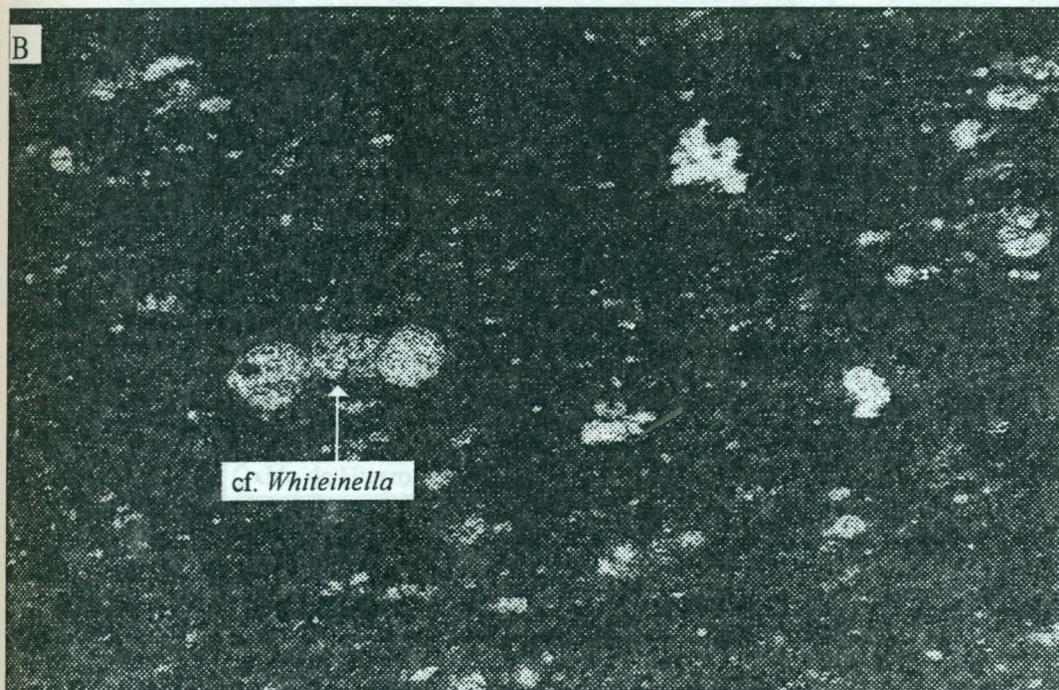
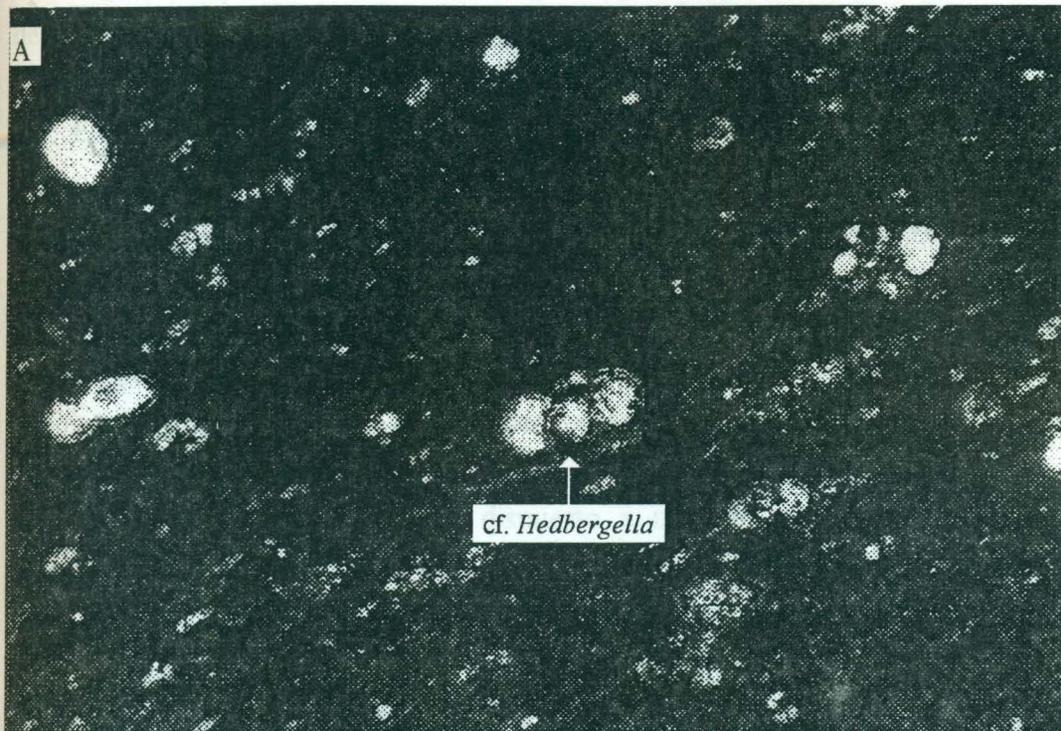


Figura 4.8. Foraminíferos planctónicos. A) cf. *Hedbergella*. B) cf. *Whiteinella*? (250X)

Las variaciones observadas a lo largo del perfil, tanto en cantidad como en tamaño de los biógenos, pueden ser el resultado de cambios en la tasa de productividad y/o disolución de CaCO_3 durante la depositación de los sedimentos fosilíferos.

En todas las láminas estudiadas (tanto "mudstone" como "wackestone") destaca la total ausencia de organismos bentónicos y restos o huellas de organismos bioturbadores.

A lo largo de los 3.6m del perfil de Vallecillo es posible observar una laminación milimétrica en los sedimentos. Esta laminación se mantiene constante a lo largo de toda la sección. Las características observadas indican que dicha laminación es el producto de cambios periódicos en las condiciones físico-químicas del ambiente sedimentario o bien, cambios de orden menor en la actividad orgánica, como reflejo de variaciones en el régimen climático.

Un alto contenido de hierro dispuesto a manera de manchas y/o bandas son observadas en las secciones estudiadas (Figura 4.9). Este material es el resultado de oxidación postsedimentaria o postdiagenética de sulfuros de hierro como la pirita.

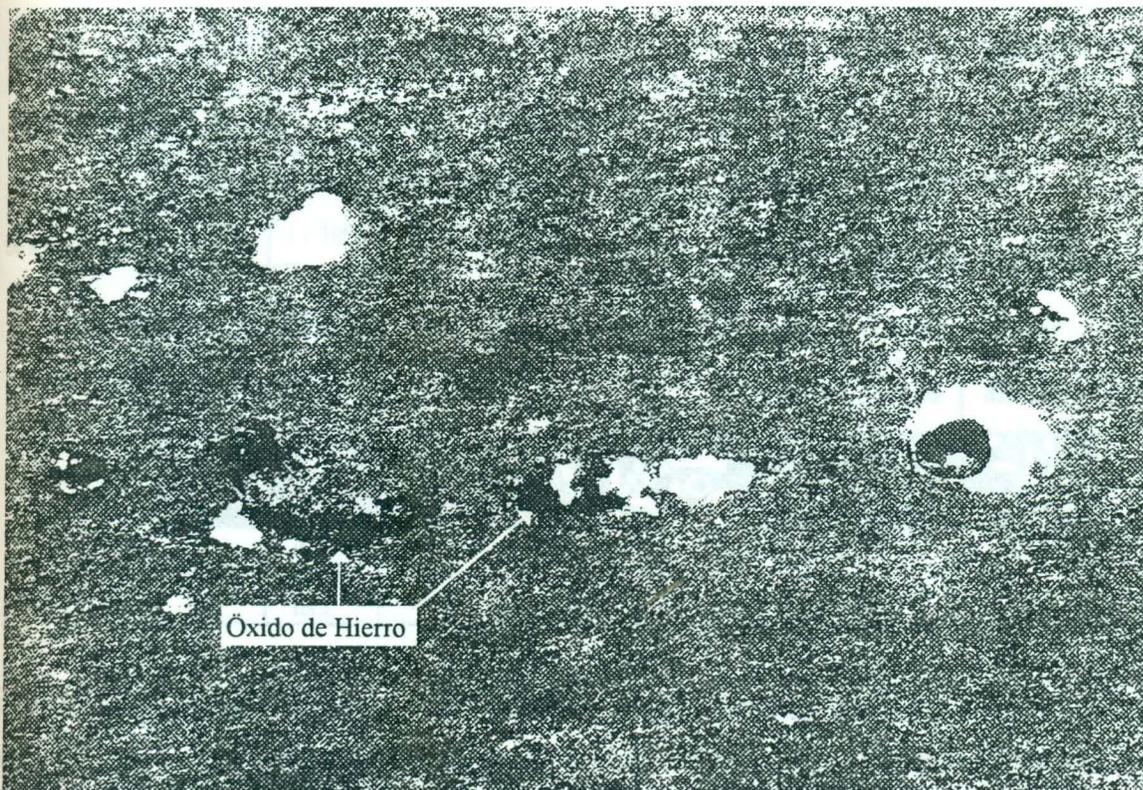


Figura 4.9. Óxido de hierro presente en las calizas litográficas de Vallecillo (250X)

4.3.4 Interpretación de facies

De acuerdo con las características descritas anteriormente, el ambiente de depósito pertenece a un medio euxínico con pobre circulación. Este medio se caracteriza por la presencia de una matriz micrítica (la cual indica baja energía, ver figura 4.10), fauna exclusivamente planctónica y nectónica, además de la formación de sedimentos laminados (Wilson, 1975). En condiciones de baja concentración de oxígeno, la actividad de bacterias aerobias es nula y la degradación de la materia orgánica está limitada a la acción de bacterias anaeróbicas menos eficientes. Por lo tanto, la descomposición de macroorganismos en la superficie del sedimento cesa en condiciones de bajo oxígeno. Consecuentemente no hay bioturbación que promueva el acceso de oxígeno y la degradación por bacterias aeróbicas dentro del nivel superior del sedimento. Como consecuencia de lo anterior, los sedimentos resultantes usualmente están finamente laminados y típicamente tienen una gran cantidad de materia orgánica.

Porcentaje de aloquímicos	Aprox. 2/3 de cementante esparítico				Igual % de esparita y micrita	Aprox. 2/3 de matriz micrítica		
	0 - 1%	1 - 10%	10 - 50%	Aprox. 50%		Mal sorteado	Bien sorteado	Redondeado y desgastado.
Términos representativos	Micrita	Micrita fosilífera	Bio-micrita escasa	Bio-micrita compactada	Bio-esparita pobremente lavada	Bio-esparita mal sorteada	Bio-esparita bien sorteada	Bio-esparita redondeada
Terminología de 1959	Micrita	Micrita fosilífera	B i o m i c r i t a		B i o e s p a r i t a			

Figura 4.10 Espectro texturas de carbonatos de acuerdo a Folk (1962) En esta figura se ilustra que la energía en el ambiente de sedimentación aumenta de izquierda a derecha tal como se halla actualmente en un ambiente de cuenca-plataforma-litoral. De acuerdo a esta figura, los sedimentos de Vallecillo fueron depositados en un ambiente de baja energía dando lugar a calizas con matriz micrítica. (Modificado de Wilson, 1975).

4.4 Mineralogía

4.4.1 Material y método

Un total de 70 muestras fueron procesadas para el análisis de roca completa y minerales arcillosos. Dicho análisis fue llevado a cabo mediante un difractómetro SCINTAG XRD 2000 de acuerdo al método citado por Adatte et al, 1996.

200 gramos de cada muestra de roca fueron molidos para obtener pequeños fragmentos de 1-5mm. Aproximadamente 5 gramos de este material fueron secados a una temperatura de 110° C y homogeneizados a un tamaño de partícula de <40 μ . Posteriormente, 800 miligramos de este polvo fueron sometidos a presión (20 bares) en un recipiente cubierto con papel secante, y finalmente analizados por XRD. .

Pastillas de sedimento fueron mezcladas con agua desionizada (pH 7-8) y agitadas. La fracción de carbonato fue removida agregando HCl 10% (1.25N) a temperatura ambiente y dejando reposar durante 20 minutos. Rompimiento por ultrasonido fue efectuado a intervalos de 3 minutos. El residuo insoluble fue lavado y centrifugado (5-6 veces) hasta obtener una suspensión neutra. La separación de diferentes fracciones de tamaño de grano (< 2 μ m y 2-16 μ m) fue obtenida por medio del método de decantación de acuerdo a la ley de Stock. La fracción seleccionada fue pipeteada en un vidrio de reloj y secada a temperatura ambiente (air-dry). Análisis de XRD basado en preparados orientados fueron hechos también en muestras tratadas con glicol-etileno. La intensidad de los picos seleccionados de XRD (ver apéndice) caracterizan cada mineral presente en el tamaño de fracción (por ejemplo, clorita, esmectita, caolinita). No se realizaron análisis cuantitativos para los minerales arcillosos.

4.4.2 Análisis de roca completa

Los contenidos de roca completa para la secuencia fosilífera de Vallecillo muestran variaciones en el contenido de calcita (87%-1%), filosilicatos (88%-8%) y cuarzo (<35%). De acuerdo a estos datos mineralógicos, la variación entre el porcentaje de detritos/carbonato podría ser el resultado tanto de procesos de depositación primaria

(ciclos de productividad) como procesos diagenéticos (disolución del carbonato de calcio) (Eicher y Diner, 1991).

En las gráficas mostradas en la figura 4.11, se observan las fluctuaciones del contenido de carbonato en el perfil de Vallecillo. Las variaciones en los porcentajes de cuarzo y filosilicatos son el reflejo de cambios en el contenido porcentual de calcita en cada muestra, por lo tanto, conforme aumenta el porcentaje de calcita, disminuye el porcentaje de cuarzo y filosilicatos, y viceversa.

En estas gráficas, las muestras que presentan un porcentaje mayor en calcita y menor en filosilicatos y cuarzo, corresponden a las calizas litográficas, mientras que el caso contrario, corresponde a los valores obtenidos para los sedimentos arcillosos.

Posiblemente las secuencias de Vallecillo (calizas litográficas y lutitas) son producto de fluctuaciones en el aporte de carbonatos de ambiente pelágico al medio de depósito (ciclos de productividad) al tiempo que, aparentemente, se mantiene constante el aporte de material detrítico (Boer, 1991; Einsele y Ricken, 1991). La posibilidad de cambios en el aporte de terrígenos en lugar de los ciclos de productividad y/o disolución de carbonato de calcio queda descartada, ya que en el primer caso, las secuencias margosas o de naturaleza detrítica suelen ser de mayor espesor que las capas de caliza y, por otra parte, este evento generalmente está ligado a un incremento constante en el porcentaje de arcillas (Figura 4.12), situación que aparentemente no sucede en los horizontes estudiados. Por otro lado, en el caso de cambios en la productividad de carbonatos o bien, en la disolución de éstos, las secuencias de carbonatos presentan espesores mayores que las secuencias de margas/lutitas, como es el caso de Vallecillo, siendo la única diferencia entre estos dos procesos el porcentaje de arcillas en la roca. (Einsele y Ricken, 1991).

Los cambios en la productividad y/o disolución de CaCO_3 en secuencias de margas-calizas o calizas-lutitas del Cretácico (como es el caso de Vallecillo), pueden ser una respuesta a cambios climáticos periódicos producidos por eventos cíclicos (precesión, oblicuidad y excentricidad) dentro de la frecuencia de Milankovitch (Boer, 1991; Eicher y Diner, 1991). Fisher (1991), menciona que este tipo de secuencias pertenecen a ciclos del orden de los 28ka ó 41ka (esto en función de la latitud donde fueron depositadas); siendo posible, de acuerdo a las características ya mencionadas, que las capas litográficas de Vallecillo presenta un patrón de ciclicidad similar.

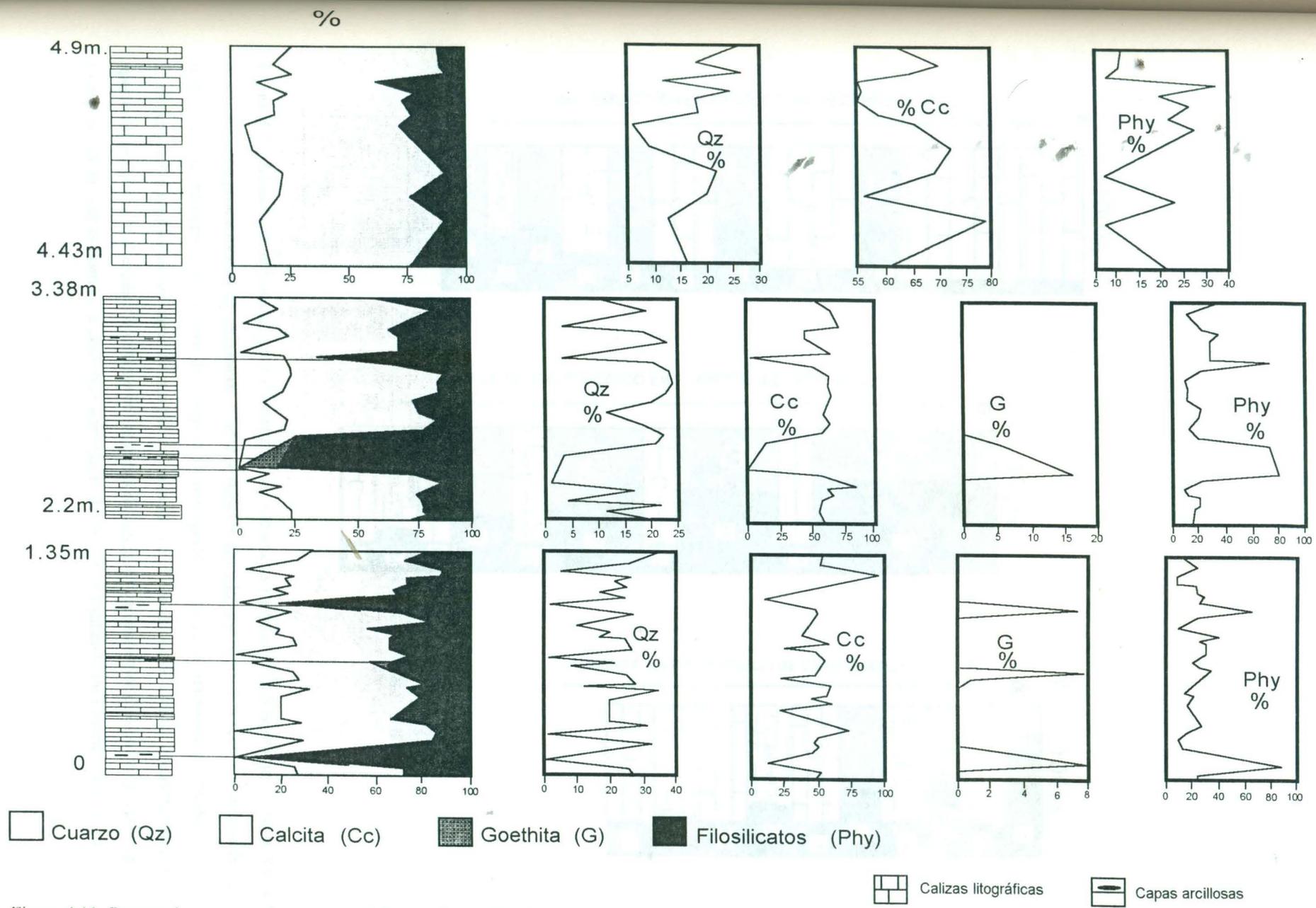


Figura 4.11. Porcentajes en peso de cuarzo, calcita, goethita y filosilicatos en las capas fosilíferas de Vallecillo.

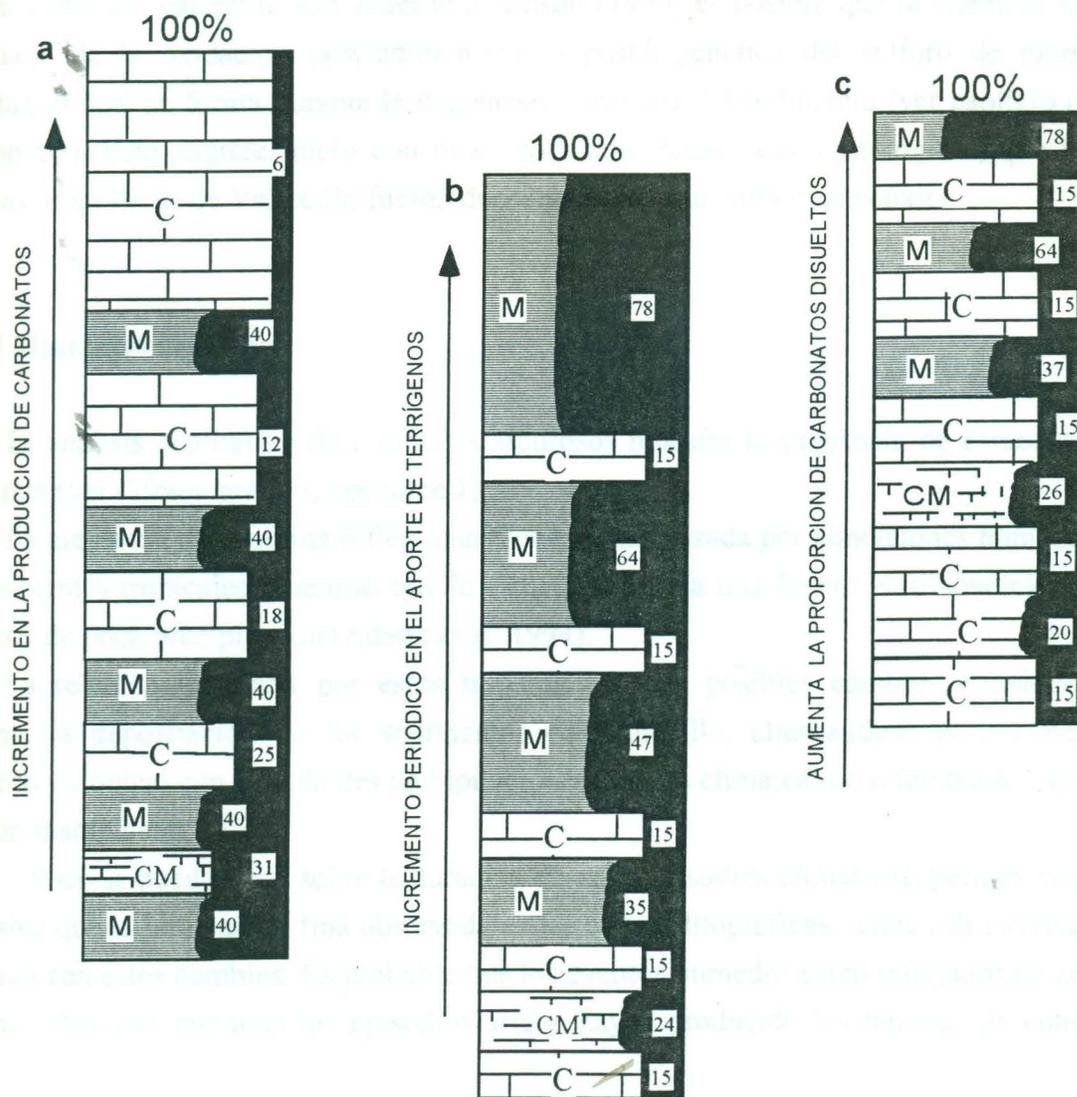


Figura 4.12. Modelos simplificados para el desarrollo de secuencias rítmicas de calizas-margas, calizas lutitas. a) variación en productividad de carbonatos; nótese la relación entre los espesores y porcentajes de arcilla (números en recuadro negro) de las capas de calizas (C) y margas (M); b) variación en aporte de terrígenos, nótese el aumento en el espesor de las capas de margas y el aumento en el porcentaje de arcillas conforme aumenta el aporte de terrígenos, y el espesor constante en las capas de caliza; c) variación por disolución de carbonatos. El espesor de las capas disminuye conforme aumenta la disolución (Modificado de Einsele y Ricken, 1991)

4.4.2.1 Goethita

La presencia de Goethita (<8%) en cuatro muestras refleja procesos de oxidación en las capas de Vallecillo. De acuerdo a Allison (1990) es posible que la Goethita sea producto de la oxidación postsedimentaria o postdiagenética del sulfuro de hierro (pirita), el cual se forma durante la diagénesis temprana del sedimento (ver capítulo de tafonomía). Esto sugiere, junto con otras evidencias faunísticas y litológicas, que las calizas litográficas de Vallecillo fueron depositadas bajo un ambiente anóxico.

4.4.3 Minerales arcillosos

El análisis cualitativo de minerales arcillosos muestra la presencia de esmectita, caolinita (ver difractogramas, apéndice 1).

La presencia de caolinita refleja una fuente caracterizada por condiciones húmedas en ambientes tropicales, mientras que la esmectita refleja una fuente bajo condiciones áridas y de poca precipitación (Adate et al, 1994).

La relación mostrada por estos minerales indica posibles cambios climáticos durante la depositación de los sedimentos de Vallecillo, alternándose un régimen húmedo y tropical con abundantes precipitaciones, con un clima cálido o templado, pero predominantemente seco.

Poco se puede decir sobre la duración de estos episodios climáticos, pero es muy probable que la laminación fina observada en las calizas litográficas, tenga una estrecha relación con estos cambios. Es probable que los eventos húmedos estén reflejados en las láminas oscuras mientras los episodios áridos hayan producido las láminas de color claro.

5.5 Relaciones paleontológicas de la fauna de Vallecillo

FAUNA FÓSIL DE VALLECILLO, NUEVO LEÓN.

5.1 Foraminíferos planctónicos

5.2 Invertebrados

5.2.1 Amonites

5.2.2 Pelecípodos

5.3 Vertebrados

5.3.1 Condrósteos

5.3.2 Holósteos

5.3.3 Teleósteos

5.3.3.1 Orden Ichthyodectiformes

5.3.3.2 Orden Aulapiformes

5.3.3.3 Series Percomorfa

5.3.4 Otros vertebrados

5.4 Fauna no presente

5.4.1 Ichnofauna

5.4.2 Foraminíferos bentónicos

5.5 Relaciones paleobiogeográficas de la fauna de Vallecillo

La fauna fósil rescatada de las canteras de Vallecillo es diversa. Se han encontrado varios grupos de peces teleosteos (3 órdenes), algunos ejemplares de peces condrosteos (incluidos dientes de tiburón e impresiones de los contornos corporales) y un ejemplar holosteo del grupo de los picnodontos; también dos ejemplares del Orden Chelonia y la columna vertebral de otro reptil marino no determinado han sido rescatados de las canteras. Dentro de la fauna de invertebrados se han reportado tres géneros de ammonoideos así como pelecípodos (cf. *Inoceramus*).

Un estudio sistemático de la fauna vertebrada no fue realizado. Determinaciones preliminares fueron llevadas a cabo tomando en cuenta características generales diagnósticas de cada orden y/o familia para el caso de vertebrados, y de cada género en el caso de invertebrados.

El objetivo principal de este capítulo, es mostrar la variedad de la fauna presente en los estratos fosilíferos de esta localidad.

NOTA. Las láminas citadas en el presente capítulo están incluidas en el apéndice II.

5.1 Foraminíferos planctónicos

La microfauna encontrada en los sedimentos fosilíferos estudiados está representada principalmente por cinco especies de foraminíferos planctónicos que, de acuerdo a Caron (1985) y Nederbragt (1990), las características principales éstas son las siguientes.

Whiteinella archaeocretacea Porthault, 1969.

Horizonte de primera aparición: Zona de *Whiteinella archaeocretacea* (Turoniano Inferior).

Horizonte de última presencia: Zona de *Dicarinella asymetrica* (Santoniano Superior).

Concha con trocoespira baja. Presenta de 4-5 cámaras en la última vuelta. El tamaño de las cámaras aumenta bruscamente hacia la última vuelta de la espira. Contorno lobulado. Cámaras globosas a semiglobosas, las cuales se elongan en el sentido del enrollamiento. Suturas deprimidas y radiales. Carenas ausentes

***Whiteinella brittonensis* (Loeblich y Tappan, 1961)**

Horizonte de primera aparición: Zona de *Rotalipora cushmani* (Cenomaniano Superior)

Horizonte de última presencia: Zona de *Dicarinella asymetrica* (Santoniano Superior).

Concha con trocospira elevada determinando un perfil ligeramente asimétrico. Presenta 5 cámaras en la última vuelta de la espira. El crecimiento de las cámaras es gradual hacia la última vuelta de la espira. Contornos de lobulados a circulares. Suturas radiales y deprimidas. Carenas ausentes.

***Whiteinella paradubia* (Sigal, 1952)**

Horizonte de primera aparición: Zona de *Rotalipora cushmani* (Cenomaniano Superior)

Horizonte de última presencia: Zona de *Dicarinella primitiva* (Coniaciano Inferior)

Concha con trocospira notoriamente más alta que en *W. brittonensis*. Presenta de 5-6 cámaras en la última vuelta de la espira. Cámaras globosas o semiglobosas. Crecimiento de las cámaras gradual hacia la última vuelta. Contorno lobulado a circular. Carenas ausentes.

***Hedbergella delrioensis* (Carsey, 1926)**

Horizonte de primera aparición: Zona de *Schackoina cabri* (Aptiano Medio)

Horizonte de última presencia: Zona de *Dicarinella concavata* (Coniaciano Superior-Santoniano Inferior)

Concha con trocospira baja. Presenta de cinco a seis cámaras en la última vuelta. El crecimiento de las cámaras hacia la última vuelta no es gradual. Cámaras globosas. Contorno lobulado. Suturas radiales y deprimidas. Carenas ausentes.

***Heterohelix globulosa* (Ehrenberg, 1840)**

Horizonte de primera aparición. Zona de *Whiteinella archaeocretacea* (Turoniano inferior)

Horizonte de última presencia. Zona de *Abathomphalus mayaroensis* (Maastrichtiano superior)

Presenta cámaras semiglobosas colocadas en forma biserial. Las cámaras son ligeramente más profundas que anchas o altas. La superficie del caparazón es lisa. La apertura es un simple arco rodeado de un labio imperforado.

5.2 Invertebrados

5.2.1. Amonites

Impresiones y moldes de 14 ejemplares fueron encontrados en los primeros dos metros de las capas fosilíferas de Vallecillo. Hasta ahora, tres géneros pertenecientes a dos familias han sido determinados. De acuerdo a Arkell, et al. 1978, las características de los géneros encontrados son las siguientes:

Familia Acantoceratidae Hyatt, 1900

Concha con tuberculación fuerte, al menos en la región umbilical y ventrolateral. Algunos grupos presentan costillas bien desarrolladas mientras en otros son poco marcadas o ausentes. La mayoría de los géneros presentan la concha evoluta, aunque hay grupos que presentan concha ligeramente involuta.

***Mammites* Laube y Bruder, 1887**

Concha evoluta. La vuelta interna es trapezoidal con tuberculación moderada. Presenta costillas rectas y gruesas las cuales parten de un tubérculo umbilical terminando en un tubérculo ventrolateral. Vuelta externa con pocos tubérculos (Lámina I y II).

***Spathites* Kummel and Decker, 1954**

Concha moderadamente involuta. Vuelta interna trapezoidal. La zona umbilical presenta tuberculación densa. De cada tubérculo nace un par de costillas suaves y redondeadas; y cada costilla termina en dos tubérculos vertolaterales. La cámara es lisa o con costillas muy juntas (Lámina III y IV).

Familia Collignoniceratidae Wright y Wright, 1951

La mayoría de los grupos con concha fuertemente evoluta. Presentan una quilla notoriamente aserrada y tubérculos umbilicales prominentes. Los tubérculos en la zona ventrolateral son dobles y muy notorios, los cuales pueden fusionarse con estructuras tales como cuernos.

***Collignoniceras* Breistrofer 1947**

Concha evoluta. Tubérculos sifonales redondeados y altos formando una quilla aserrada. Costillas rectas a ligeramente sinuosas. Tuberculos en la zona umbilical poco notorios mientras que en la zona ventrolateral son muy marcados (Lámina V).

5.2.2 Pelecípodos

Un total de diez ejemplares de la Familia Inoceramidae fueron rescatados de las canteras de Vallecillo. El material consiste principalmente en moldes y valvas completas o parcialmente disueltas (Láminas VI, VII y VIII). Estos ejemplares solo presentan la valva izquierda, la cual generalmente es de mayor tamaño que la derecha. En general, las piezas rescatadas en Vallecillo son aparentemente inequivalvas a subequivalvas, presentan una forma oval a ligeramente trapezoidal, siendo el área del ligamento cóncava transversalmente. Las valvas son concéntricamente lamelosas y no presentan ornamentación radial (como anillos u otras estructuras)(Cox, et al, 1969).

La determinación taxonómica a nivel específico está llevándose a cabo actualmente.

1020123085

5.3 Vertebrados

5.3.1 Condrósteos

Se reportan para las canteras de Vallecillo impresiones de partes blandas y columna vertebral de un ejemplar condrósteos (Lámina IX). En este ejemplar se observa como característica diagnóstica la tendencia fusiforme del cuerpo, además de la conservación de la base de una aleta dorsal triangular. De acuerdo a esto, es posible que el ejemplar pertenezca al Orden Selachii (tiburones).

Además se reportan dientes de tiburón del género cf. *Acrodus* (Stinnesbeck, comunicación personal; Lámina X).

5.3.2 Holósteos

Orden Pycnodontoidea.

El orden Pycnodontoidea fue un grupo abundante hacia los inicios del Cretácico Inferior. Tuvo su auge mayor durante el Cretácico Superior teniendo un declive en el número de especies hacia principios del Terciario.

Para el Cretácico de Norteamérica se han reportado varios géneros de este grupo; entre ellos destacan los géneros *Microdon* sp. y *Macromesodon* sp. para el Cretácico Inferior, y los géneros *Coelodus* y *Anomoeodus* para el Cretácico Superior (Müller, 1985). En la localidad de Tepexi de Rodríguez, Puebla, el pycnodonto *Tepexichthys aranguthyorum*, ha sido descrito para sedimentos de edad albiana (Applegate, 1992), y representa una nueva especie para el Cretácico Inferior de México.

En Vallecillo, al Orden Pycnodontoidea lo compone un ejemplar de aproximadamente 50 centímetros de longitud y que presenta una morfología corporal a manera de diamante (Lámina XI). La distancia que existe entre la aleta pélvica y dorsal es igual a la mostrada entre la cabeza y la aleta caudal. Este ejemplar presenta una cabeza grande ($\frac{1}{3}$ del tamaño total del cuerpo) la cual presenta, como rasgos distintivos, huesos de la región frontal bien desarrollados. Las dimensiones de las cuencas orbitales son aproximadamente $\frac{1}{4}$ del tamaño total de la cabeza. Este ejemplar presenta costillas largas ($\frac{1}{2}$ del tamaño total del cuerpo) y rectas, ligeramente dispuestas hacia la región posterior.

5.3.3 Teleósteos

Entre la fauna del Orden Teleostei se encuentran aproximadamente 50 ejemplares (incluye ejemplares completos y/o fragmentos) con diferentes grados de preservación.

Estudios sistemáticos no fueron realizados para el presente trabajo. Los ejemplares de Vallecillo han sido determinados de forma preliminar, a nivel de orden, de acuerdo al criterio de Carrol (1988). Por otra parte, algunos de los ejemplares han sido comparados con ejemplares existentes en la colección del Museo de Historia Natural de la Universidad de Kansas, observándose similitudes entre la fauna de estos sitios con la fauna de Vallecillo.

Con base a las características generales mostradas por la fauna fósil de Vallecillo, tres grupos (órdenes) pudieron ser determinados.

5.3.3.1 Orden Ichthyodectiformes

Se conocen aproximadamente una docena de géneros de los cuales el género cretácico *Xiphactinus* sp. (Figura 5.1) es posiblemente el más conocido.

Para el Cretácico de Norteamérica, tres familias de Ichthyodectiformes han sido reportadas. Entre ellas destacan los géneros *Gillicus* sp., *Ichthyodectes* sp., *Xiphactinus* sp. (Familia Ichthyodectidae); *Saurocephalus* sp., *Saurodon* sp. (Familia Saurodontidae), *Bananogmius* sp. y *Martinichtys* sp. (Familia Tryptodontidae)

Dos ejemplares incompletos fueron encontrados en las canteras de Vallecillo (Lámina XII). Estos ejemplares presentan, como característica distintiva de otros ejemplares, una dentición marginal compuesta por largos dientes cónicos.

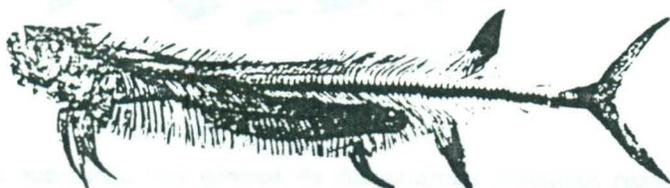


Figura 5.1 *Xiphactinus* sp., un representante del orden primitivo Ichthyodectiformes proveniente del Cretácico Superior (Modificado de Carrol, 1988).

5.3.3.2 Orden Aulapiformes

Los Aulapiformes son neoteleosteos primitivos comunes en el Cretácico Superior. Géneros como *Enchodus* sp. (Familia Enchodontidae), *Cimolichthys* sp. (Familia Cimolichthyidae), *Ichthyotringa* sp. (Familia Ichthyotringidae) y *Stratodus* sp. (Familia Dercetidae) han sido encontrados en sedimentos del Cretácico Superior de Norteamérica (Figura 5.2)

La fauna de Vallecillo incluye formas de cuerpo elongado y angosto posiblemente de la Familia Dercetidae (Láminas XIII, XIV y XV). Se encuentran formas que además de las dos características descritas presentan un alargamiento de la parte distal de la cabeza a manera de espada (modificación de huesos maxilares y frontales); probablemente estos ejemplares pertenecen a la Familia Ichthyotringidae (Láminas XVI y XVII). Por último, destacan representantes con grandes cabezas y grandes dientes elongados (no cónicos), y que probablemente pertenecen a la Familia Enchodontidae (Lámina XVIII).

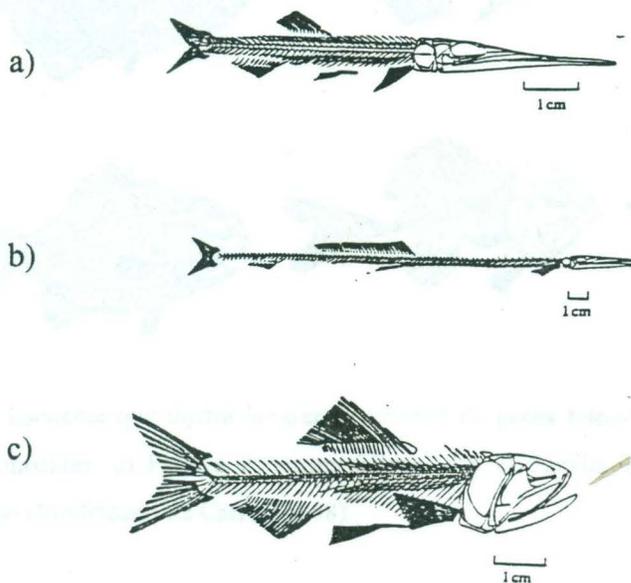


Figura 5.2 Esquema que ilustra tres géneros de Aulapiformes primitivos reportados para el Cretácico Superior de Norteamérica a) *Ichthyotringa*, x1; b) *Dercetis*, x3/4; c) *Sardinus*, x3/4. (Modificado de Carrol, 1988).

5.3.3.3 Series Percomorpha

Orden Beryciformes

Los percomorfos forman el grupo más diverso de todos los órdenes de vertebrados (Figura 5.3), y debido a esta diversidad, las revisiones taxonómicas suelen ser extensivas y difíciles. En general, los percomorfos primitivos forman una simple pero vasta asociación que comparte un ancestro común en la fase temprana del Cretácico Superior.

Es probable que los ejemplares percomorfos de Vallecillo pertenezcan a un grupo primitivo: el orden Beryciformes. Este orden incluye aproximadamente 15 géneros conocidos para el Cretácico Superior. Por otra parte, las familias como Diermetidae, Trachithyidae, Monocentridae y Anomalopidae son reportadas para el Cretácico Superior de Norteamérica (Carrol, 1988).

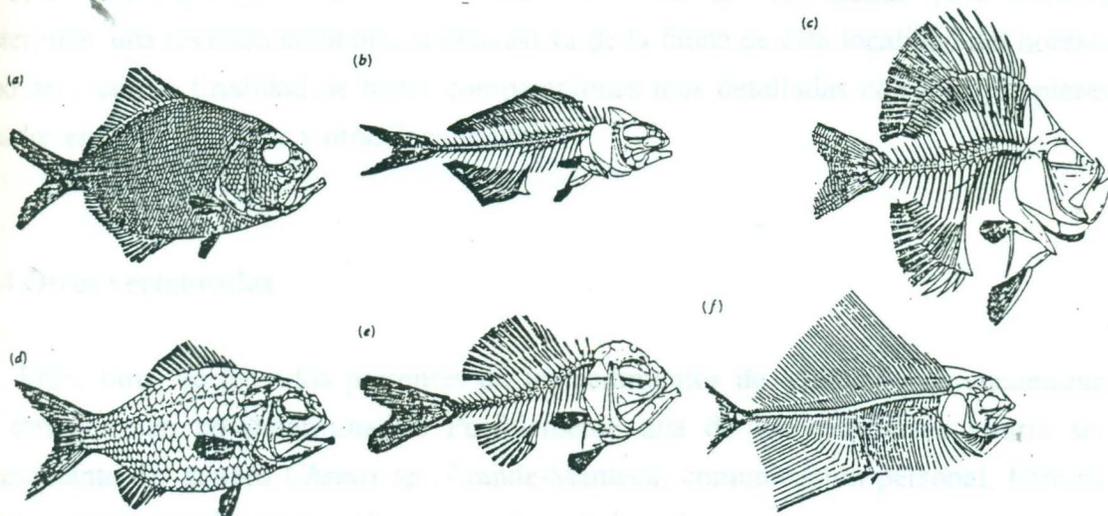


Figura.5.3. Esquema que ilustra la gran diversidad de peces teleosteos del orden Beryciformes. a y b) Familia Pilimixiidae, c) Familia Pycnosteroididae, d y e) Familia Trachithyidae, f) miembro del grupo Exocoetoidei (Modificado de Carrol, 1988).

El orden Beryciformes es el grupo con más ejemplares en las canteras de Vallecillo. Debido a la complejidad estructural mostrada por este grupo, la determinación taxonómica no fue realizada. De acuerdo a sus características generales, dos grupos pueden ser reconocidos de manera preliminar.

El primer grupo, está representado por ejemplares de un tamaño no mayor a los 10 cm; y que presentan una forma corporal a manera de diamante. Estos ejemplares presentan cuencas orbitales grandes ($\frac{1}{2}$ del tamaño total de la cabeza) y poseen costillas rectas y muy largas ($\frac{3}{4}$ de la longitud total del cuerpo) y ligeramente orientadas hacia la parte posterior del ejemplar (Láminas XIX y XX).

El segundo grupo incluye ejemplares de hasta un metro de longitud, que poseen costillas largas (aproximadamente $\frac{1}{4}$ de la longitud total del cuerpo) y curvas prolongadas hacia la región anterior del ejemplar. Como característica distintiva, estos ejemplares presentan dos espinas de longitud superior a los 10 cm. Una de ellas parte desde el primer tercio del cuerpo (detrás de la cabeza) y se prolonga hacia la región dorsal a un nivel de $\frac{3}{4}$ partes del cuerpo. La segunda parte de la aleta pectoral, y se prolonga en el mismo sentido de la primera (Láminas XXI, XXII XXIII y XXIV).

En general, la fauna de Vallecillo presenta similitudes con ictiofaunas encontradas en otros lugares, como Texas y Kansas. Por ello, se recomienda para trabajos posteriores, una revisión taxonómica exhaustiva de la fauna de esta localidad del noreste mexicano, con la finalidad de hacer comparaciones más detalladas con los ejemplares situados en Kansas, Texas y otras localidades.

5.3.4 Otros vertebrados

Entre otros vertebrados presentes en los sedimentos de Vallecillo se encuentran dos tortugas aún no determinadas. Posiblemente una de los ejemplares podría ser representante del género *Chemis* sp (Aranda-Manteca, comunicación personal; Lámina XXVI) aunque esta determinación no ha sido corroborada.

También se han encontrado, por otro lado, discos vertebrales con diferente grados de aplanamiento. Estos discos probablemente pertenecen a un reptil marino aún no determinado (Lámina XXV).

5.4 Fauna no presente

Fauna bentónica común no ha sido observada en los sedimentos fosilíferos de Vallecillo. En general, el establecimiento de estas comunidades esta en función a una

serie de factores ecológicos, por lo tanto el tipo de fauna bentónica presente o bien, la ausencia de ésta, suelen ser indicadores de diversos eventos oceanográficos.

5.4.1 Ichnofauna

La ausencia de ichnofauna puede dar información acerca de las condiciones dadas en un momento en particular en el tiempo geológico dentro de un escenario sedimentario.

Uno de los factores más importantes que controlan la distribución espacial de esta fauna, es la concentración de oxígeno en el medio. Por ejemplo, a concentraciones altas de oxígeno (2.0-1.0 ml/l) la endofauna es diversa, y conforme esta concentración disminuye (valores menores a 1.0-0.5 ml/l), comienza la restricción de la fauna bentónica, desapareciendo casi todos los grupos de bioturbadores (figura 5.5) y dando como resultado la microlaminación de los sedimentos (Bromley, 1996)

De acuerdo a lo anterior, es posible que la ausencia de ichnofauna en los sedimentos de Vallecillo sea producto de la carencia de una concentración alta de oxígeno en el medio de depósito.

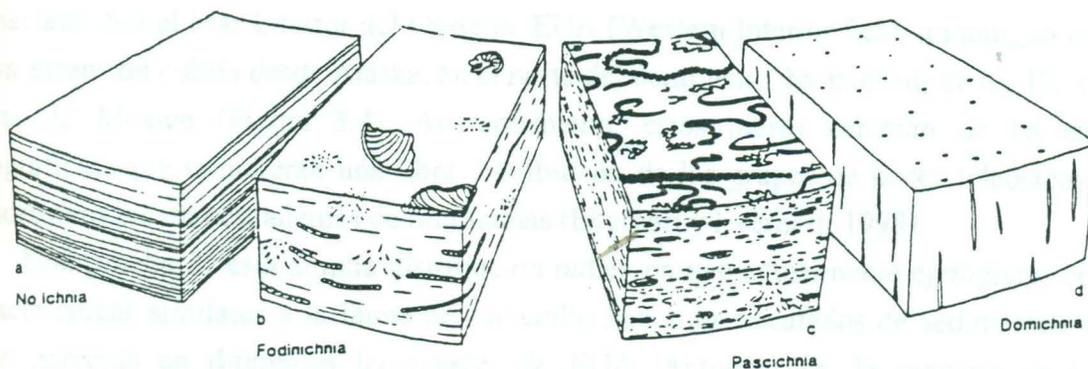


Figura 5.5. Modelo de Ekdale-Mason relacionando asociaciones de ichnofósiles y concentración de oxígeno, la cual se incrementa de izquierda a derecha. A) Nótese que bajo condiciones de anoxia la microlaminación es predominante. b, c y d) Diferentes tipos de asociaciones presentes a diferentes niveles de oxígeno (Modificado de Bromley, 1996).

5.4.2 Foraminíferos bentónicos

En general, la ocurrencia de especies de foraminíferos bentónicos está controlada por una amplia gama de factores ambientales (concentración de oxígeno, profundidad, disponibilidad de alimento, etc). En un contexto local, por ejemplo en una cuenca cerrada, como en el caso de Vallecillo, la concentración de oxígeno es el factor condicionante principal.

Asimismo, en cuencas de circulación restringida, los sedimentos del fondo generalmente presentan características anóxicas. Bajo estas condiciones, la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo mediante procesos reductores, siendo el resultado, una baja concentración de oxígeno y una alta concentración de S_2 . Estas condiciones producen efectos letales en la comunidad, reduciéndose el número y la variedad de especies en el medio de depósito (Loeblich y Tappan, 1964).

5.5 Relaciones paleobiogeográficas de la fauna de Vallecillo

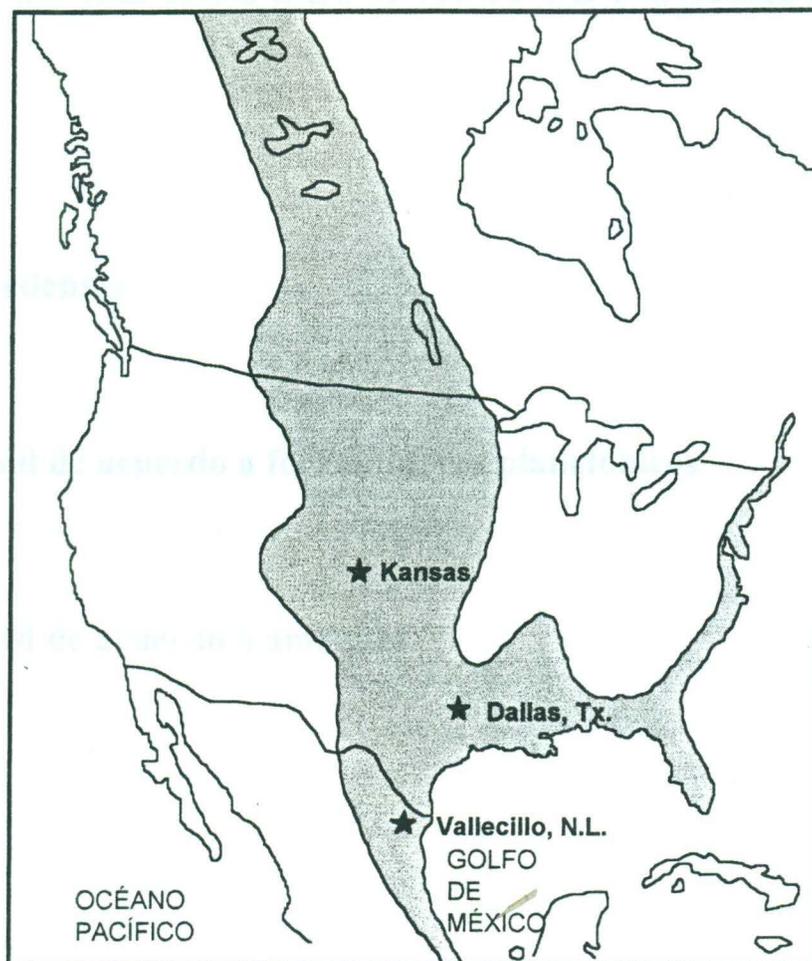
La fauna encontrada en las capas fosilíferas de Vallecillo posiblemente presentó una amplia distribución geográfica en Norteamérica durante el Cretácico Superior, teniendo alcances (incluyendo Vallecillo) desde el sur y centro de los Estados Unidos de América (EUA) hasta la región central de Canadá.

Durante el Cretácico Superior, el antiguo Golfo de México se encontraba conectado con el Mar Interior del Oeste de EUA (Western Interior Sea), un antiguo mar cuya extensión cubría desde Alaska, en el norte del continente, hasta el sur de los EUA y norte de México (Figura 5.4). Aparentemente, estos mares carecían de barreras geográficas, que impidieran una libre distribución de los grupos de peces teleosteos y condrosteos existentes, además de otra faunas (Everhart y Everhart, 1998).

Una prueba de esta amplia distribución radica en que actualmente ejemplares con características similares a la fauna de Vallecillo han sido rescatados de sedimentos de edad parecida en diferentes localidades de EUA. Actualmente, la mayoría de los ejemplares comparables con la fauna de Vallecillo, se encuentran localizados en los Museos de Historia Natural de Kansas y Dallas.

Por otra parte, también es posible especular sobre la distribución geográfica de algunos grupos de Vallecillo en edades más antiguas que el Turoniano de acuerdo a

especies ejemplares encontrados en esta localidad y en el sur de México. En Tepexi de Rodríguez, estado de Puebla, representantes picnodontos de una edad albiana han sido reportados (Applegate, 1992), mientras que el único ejemplar encontrado en Vallecillo, tiene una edad turoniana. Esto indica que ambas localidades pudieron estar en contacto desde el Albiano al Cretácico Superior, permitiendo de esta manera, que algunos peces pudieran desplazarse hacia zonas más septentrionales (o meridionales) durante todo este intervalo de tiempo ampliando su distribución geográfica.



■ MAR INTERIOR DEL OESTE
(WESTERN INTERIOR SEA)

Figura 5.4. Esquema que ilustra la relación paleogeográfica del antiguo Golfo de México y El Mar Interior del Oeste durante el Cretácico Superior. Las estrellas indican las localidades donde se ha encontrado fauna similar (Modificado de Everhart y Everhart, 1998).

6.1 Antecedentes

Los sedimentos fosilíferos de la Formación Agua Nueva, principalmente, los trabajos publicados sobre el núcleo de la Formación Agua Nueva, en el Estado de Hidalgo, México, son los siguientes: (1) Sánchez (1978), (2) López (1979), (3) López (1980), (4) López (1981), (5) López (1982), (6) López (1983), (7) López (1984), (8) López (1985), (9) López (1986), (10) López (1987), (11) López (1988), (12) López (1989), (13) López (1990), (14) López (1991), (15) López (1992), (16) López (1993), (17) López (1994), (18) López (1995), (19) López (1996), (20) López (1997), (21) López (1998), (22) López (1999), (23) López (2000), (24) López (2001), (25) López (2002), (26) López (2003), (27) López (2004), (28) López (2005), (29) López (2006), (30) López (2007), (31) López (2008), (32) López (2009), (33) López (2010), (34) López (2011), (35) López (2012), (36) López (2013), (37) López (2014), (38) López (2015), (39) López (2016), (40) López (2017), (41) López (2018), (42) López (2019), (43) López (2020), (44) López (2021), (45) López (2022), (46) López (2023), (47) López (2024), (48) López (2025).

EDAD DE LOS SEDIMENTOS FOSILÍFEROS

En el Estado de Hidalgo, México, los trabajos publicados sobre el núcleo de la Formación Agua Nueva, en el Estado de Hidalgo, México, son los siguientes: (1) Sánchez (1978), (2) López (1979), (3) López (1980), (4) López (1981), (5) López (1982), (6) López (1983), (7) López (1984), (8) López (1985), (9) López (1986), (10) López (1987), (11) López (1988), (12) López (1989), (13) López (1990), (14) López (1991), (15) López (1992), (16) López (1993), (17) López (1994), (18) López (1995), (19) López (1996), (20) López (1997), (21) López (1998), (22) López (1999), (23) López (2000), (24) López (2001), (25) López (2002), (26) López (2003), (27) López (2004), (28) López (2005), (29) López (2006), (30) López (2007), (31) López (2008), (32) López (2009), (33) López (2010), (34) López (2011), (35) López (2012), (36) López (2013), (37) López (2014), (38) López (2015), (39) López (2016), (40) López (2017), (41) López (2018), (42) López (2019), (43) López (2020), (44) López (2021), (45) López (2022), (46) López (2023), (47) López (2024), (48) López (2025).

6.1 Antecedentes

6.2 La edad de acuerdo a foraminíferos planctónicos

6.3 La edad de acuerdo a amonites

6.1 Antecedentes

Los sedimentos fosilíferos de Vallecillo han sido incluidos en la Formación Agua Nueva. Generalmente, los trabajos publicados sobre el noreste de México mencionan que, con base a estudios de macro y microfauna, esta formación presenta una edad turoniana (Padilla y Sánchez, 1978; López-Ramos, 1982; Dávila, 1991) (Figura 6.1). Sin embargo, otros autores, han reportado edades más antiguas para esta Formación.

En el Cañón la Boca, situado a 20 kilómetros al sur del Cerro de la Silla, estado de Nuevo León, Longoria (1979) reporta especies de foraminíferos planctónicos que asignan a los sedimentos de la Formación Agua Nueva una edad de Cenomaniano Superior (zona de *Rotalipora cushmani*), Turoniano Inferior (zona de *Helvetoglobotruncana helvetica*) y Turoniano Superior. Por otra parte, en el Cañón de la Borrega, Soto-Jaramillo (1981) reporta para esta Formación, una edad de Cenomaniano-Turoniano. En la zona de Huayacocotla, en el estado de Hidalgo, la Formación Agua Nueva tiene una edad de Cenomaniano y no de Cenomaniano-Turoniano (Morán-Zenteno, 1994).

Pocos trabajos han citado edades más jóvenes para la Formación Agua Nueva. En la Sierra de Picachos, estado de Nuevo León, Longoria (1977) reporta para esta Formación una edad Cenomaniano Inferior-Santoniano Superior con base en contenido fósil. Las mismas capas que Longoria (1977) reporta como Formación Agua Nueva, fueron consideradas siete años atrás por Bishop (1970) y otros autores, como Formación San Felipe, considerando que los sedimentos de la Formación Agua Nueva no fueron depositados en esta zona durante el Cretácico Superior. Esto indica que la Formación Agua Nueva no alcanza, en esta localidad, un rango de edad Cenomaniano a Santoniano como lo indica Longoria (1977).

Gamper (1977), en el Cañón Huizachal Peregrina, situado en el estado de Tamaulipas, reporta la presencia de *Dicarinella concavata* y *Globotruncana bulloides* en capas de la Formación Agua Nueva, extendiendo, de acuerdo a estos microfósiles, el límite superior de la formación al Santoniano Superior.

En localidades estudiadas por Schoenherr en 1988 (Hidalgo, N.L., Cuesta de Mamulique, Sierra de San Carlos, área de Ciudad Victoria-Soto la Marina, área de Maquihuana, Cañón Peregrina) se encontraron especies de foraminíferos planctónicos (*Whiteiniella archaeocretacea*, *Helvetoglobotruncana helvetica*, *Marginotruncana sigali*, *Dicarinella primitiva*, *Dicarinella concavata*, *Archaeoglobigerina cretacea*,

Hedbergella delrioensis) que indican, de acuerdo a este autor, las biozonas de *W. archaeocretacea* y *H. helvetica* del Turoniano y las zonas de *M. sigali*, *D. primitiva* y *D. concavata* del Coniaciano.

	Pessagno 1967 Cañón Peregrina	Bishop 1970 Sierra Pa pagayos	Longoria 1977 Cañón Peregrina	Gamper 1977 Cañón Peregrina	Padilla y Sánchez 1978 SW-N.L.	Longoria 1979 Cañón La Boca	Soto-J 1981 Cañón La Borrega	López Ramos 1982 NE-Mex.	Santiago et al., 1984 C.Burgos Tux-Tamp	Padilla y Sánchez 1982 Mty-Tor.	Schoenher 1988 NE-Mex	Davila 1991 Cerro del Aire	Morán-Z 1994 Huayaco cotla.
SANTONIANO				FORMACION SAN FELIPE									
CONIAC	FORMACION SAN FELIPE				FORMACION SAN FELIPE								
TURONIANO													
CENOMANIANO	FORMACION CUESTA DEL CURA			FORMACION CUESTA DEL CURA	FORMACION CUESTA DEL CURA	FORMACION CUESTA DEL CURA		FORMACION CUESTA DEL CURA	FORMACION CUESTA DEL CURA	FORMACION CUESTA DEL CURA	FORMACION CUESTA DEL CURA	FORMACION CUESTA DEL CURA	
FORMACION SAN FELIPE													


 FORMACION
AGUA NUEVA

Figura 6.1. Edades asignadas para la Formación Agua Nueva en el Noreste de México, de acuerdo a varios autores.

6.2 La edad de acuerdo con foraminíferos planctónicos

Un rango de edad de Turoniano-Coniaciano? Es probable para los depósitos fosilíferos de Vallecillo de acuerdo a la primera aparición de *Whiteinella archaeocretacea* y *Heterohelix globulosa*, la última ocurrencia de *Whiteinella paradubia*, y la presencia de *Whitienella brittonensis* y *Hedbergella delrioensis*. Estas especies obtenidas de muestras lavadas fueron encontradas en horizontes situados a una altura de 3m (Figura 6.3). Además, representantes de los géneros *Hedbergella* y

Whiteinella fueron observados en secciones delgadas obtenidas de muestras tomadas a 2, 2,9, 3 y 3,3m.

De acuerdo a Caron, 1985 y Nederbragt, 1990 (Figura 6.2) la primera aparición de *W. archaeocretacea* y *H. globulosa* ocurre en la zona de *W. archaeocretacea*, mientras que, de acuerdo a Caron, 1985, la última presencia de *W. paradubia* ocurre en la zona de *D. primitiva*. Estos datos indican el rango de edad probable del Turoniano Inferior al Coniaciano Superior para los sedimentos de Vallecillo. Además, la presencia de *W. brittonensis* (Robaszynsky y Caron, 1979) *H. delrioensis* durante todo el Turoniano y parte inferior del Coniaciano, corroboran la edad asignada.

Debido a la ausencia y/o mala preservación de la microfauna, la datación de los primeros dos metros del perfil fue hecha mediante macrofauna (amonites).

PISO	BIOZONAS		<i>Whiteinella paradubia</i>	<i>Whiteinella archaeocretacea</i>	<i>Whiteinella brittonensis</i>	<i>Hedbergella delrioensis</i>	<i>Heterohelix globulosa</i>
	ESPECIES						
SANT.	<i>Dicarinella asymetrica</i>						▲
	<i>Dicarinella concavata</i>						
CONIAC.	<i>Dicarinella primitiva</i>						
	<i>Dicarinella primitiva</i>						
TURONIANO	<i>Marginotruncana sigali</i>						
	<i>Helvetoglobotruncana helvetica</i>						
	<i>Whiteinella archaeocretacea</i>						
CENOMANIANO	<i>Rotalipora cushmani</i>						
	<i>Rotalipora reicheli</i>						
	<i>Rotalipora brotzeni</i>						▼

Figura 6.2. Distribución estratigráfica de cinco especies de foraminíferos planctónicos encontradas en Vallecillo. En negritas se marca la edad probable de acuerdo a la presencia de estas especies. (Según Robaszynsky y Caron, 1979; Caron, 1985; y Nederbragt, 1990).

6.3 La edad de acuerdo con amonites

La fauna amonoidea fue encontrada en los primeros dos metros basales del perfil de Vallecillo, y se observó su ausencia en los estratos de encima del nivel de los 2m del perfil.

La presencia de tres géneros de amonites (*Mammites* sp, *Spathites* sp y *Collignonicerias* sp.) sugieren una edad turoniana para los sedimentos de Vallecillo. De acuerdo a Arkell et al (1978), estos géneros tienen una distribución del Turoniano Inferior-Turoniano Superior, limitando los dos primeros metros del perfil a este rango.

De acuerdo a lo anterior, y tomando en cuenta la información aportada por la fauna amonoidea y la monotonía de los sedimentos a lo largo de los 4m de perfil, es muy probable que las capas fosilíferas de Vallecillo tengan una edad turoniana (Figura 6.3)



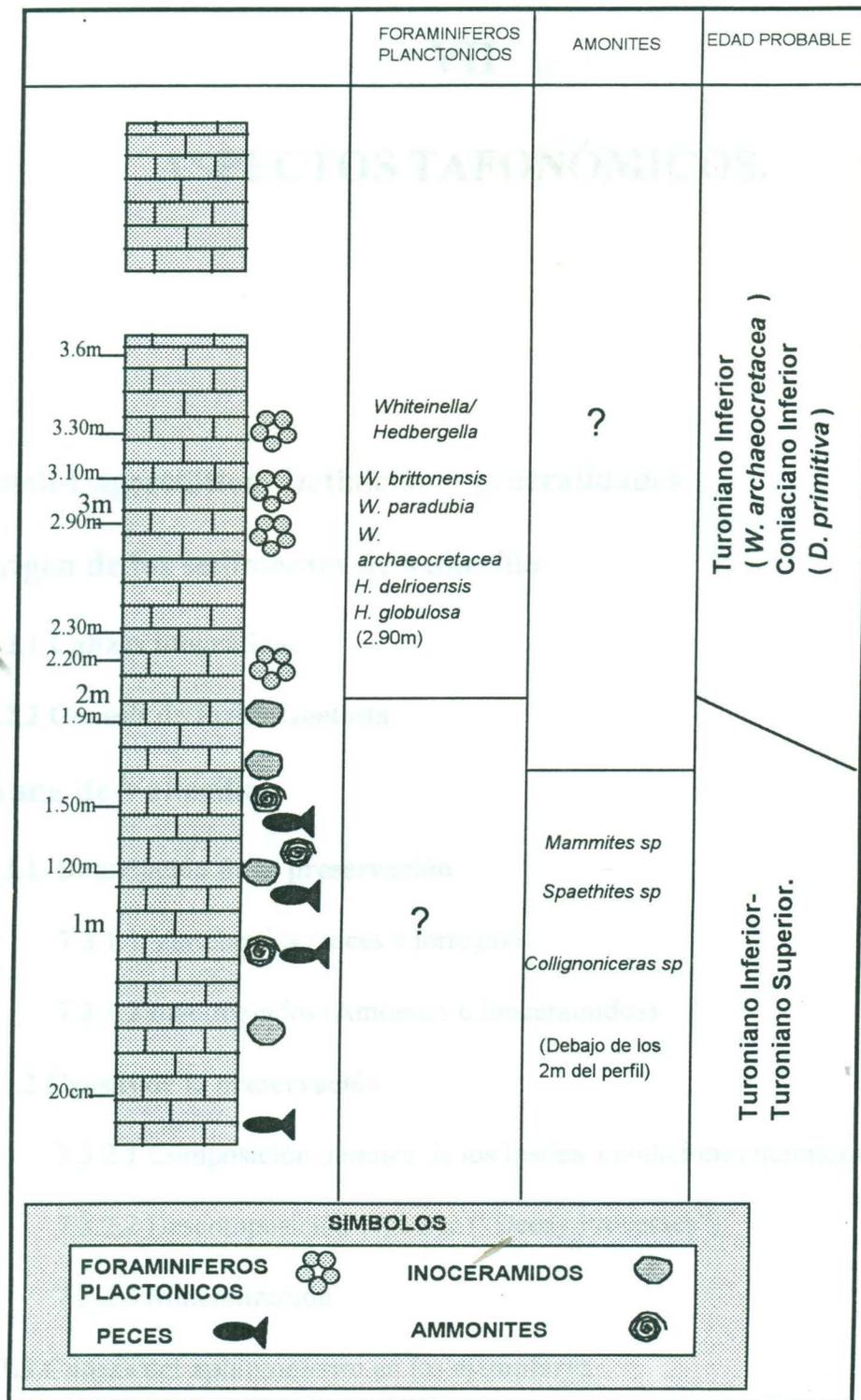


Figura 6.3. Relación de edades obtenidas para el perfil de Vallecillo de acuerdo a foraminíferos planctónicos y amonites. La edad de estos sedimentos es turoniana, de acuerdo a las asociaciones faunísticas.

VII

ASPECTOS TAFONÓMICOS.

7.1 Fossil-Lagerstätten. Definición y generalidades

7.2 Origen de los sedimentos de Vallecillo

7.2.1 Calizas litográficas

7.2.2 Génesis de Pirita/Goethita

7.3 Fauna de Vallecillo

7.3.1. Descripción de la preservación

7.3.1.1 Vertebrados (peces y tortugas)

7.3.1.2 Invertebrados (Amonites e Inocerámidos)

7.3.2 Causas de la preservación

7.3.2.1 Composición química de los fósiles/ condiciones químicas del medio

7.3.2.2 Descomposición orgánica ("Decay Processes")

7.3.2.3 Mineralización

7.3.3 Causas del aplanamiento en los ejemplares

7.3.4 Otras características de la fauna

7.4 Reconstrucción del episodio tafonómico en la cuenca de Vallecillo

7.1 Fossil-Lagerstätten. Definición y generalidades

El término "Fossil-Lagerstätten" (singular Lagerstätte) es derivado de vocablos de origen alemán. "Lagerstätte" es cualquier roca o cuerpo sedimentario que contiene constituyentes de interés económico. De acuerdo a lo anterior, un "Fossil-Lagerstätte" (yacimiento fosilífero en su traducción al español) es cualquier localidad con rocas que contengan fósiles lo suficientemente preservados y/o abundantes para su explotación con propósitos científicos (Seilacher, 1990; Brett y Seilacher, 1991)

La preservación de cualquier fósil es un evento excepcional que proporciona información importante sobre parámetros biológicos, ecológicos, deposicionales y diagenéticos de un área determinada en un momento del tiempo geológico (Barron, 1989; Seilacher, 1990; Briggs y Gall, 1990).

De acuerdo a la cantidad de restos presentes en un yacimiento, y por otro lado, a la calidad de preservación de los mismos, los yacimientos fosilíferos se clasifican en:

1. *Depósitos de concentración*. ("concentration deposits"). Una concentración fósil es definida como cualquier acumulación relativamente densa de fósiles, independientemente de su composición taxonómica, estado de preservación o grado de preservación "post-mortem". Casi siempre se tratan de acumulaciones de partes duras tales como huesos, arrecifes y conchas (figura 7.1). Ejemplos de estos tipos de depósitos son la coquina de ammonites del Jurásico de la costa de Normandía y las coquinas de tormenta del Silúrico de Ludlow (Fürshich, 1990).
2. *Depósitos de intoxicación* ("obrutional deposits"). Este tipo de depósitos se refiere a un conjunto de fósiles preservados por un evento de enterramiento rápido de organismos (Brett, 1990). Entre los ejemplos más conocidos pueden mencionarse los depósitos de "Burguess Shale" del Cámbrico Medio de la Columbia Británica (Morris, 1990); "Hunsrück Slate" del Devónico de Alemania (Bergström, 1990) y "Mazon Creek", del Pensilvanico Medio de Illinois (Baird, 1990).
3. *Depósitos de estancamiento* ("stagnation deposits"). A diferencia del ejemplo anterior, los depósitos de estancamiento son producidos por la depositación de organismos en ambientes anóxicos, y no por el rápido enterramiento (Hemleben y Swinburne, 1991). Entre los ejemplos más representativos se encuentran las calizas litográficas de "Solnhofen" del Jurásico Superior de Alemania (Viohl, 1990) y las

de "Holzmaden" (Seilacher, 1990) y de Grube Messel (Franzen, 1990) del Jurásico Superior y Eoceno de Alemania respectivamente.

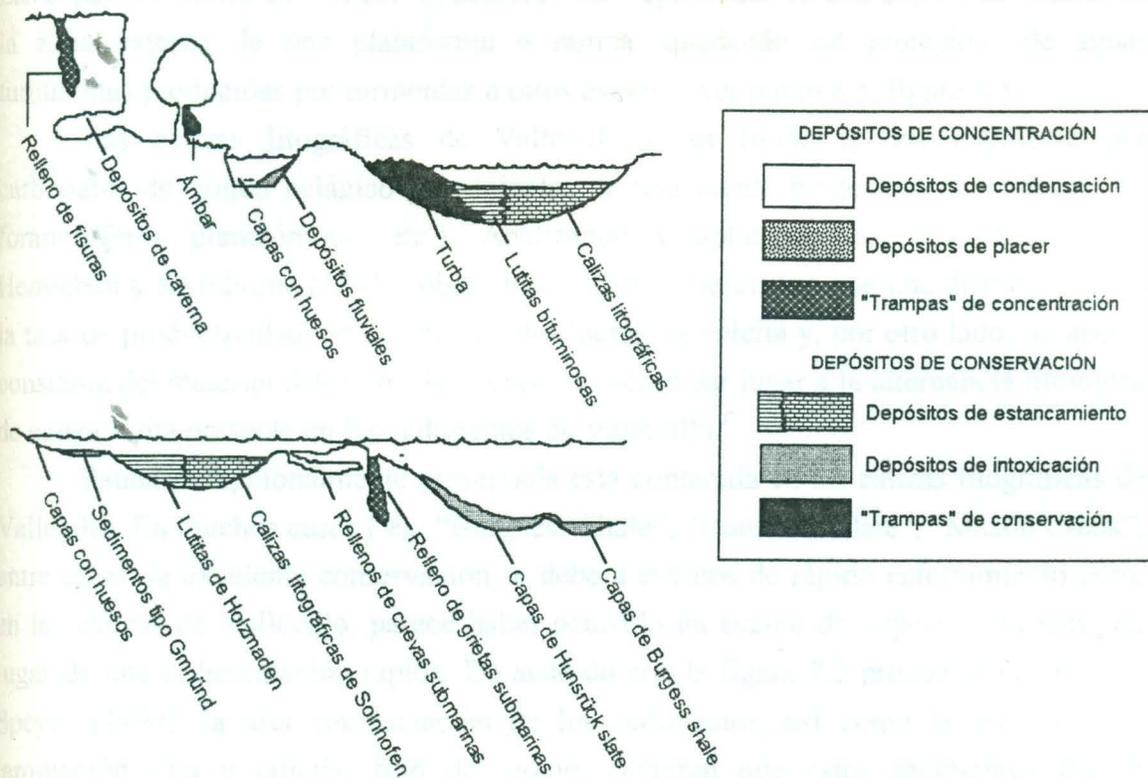


Figura 7.1. Esquema que muestra la clasificación de "Fossil-Lagerstätten" (Modificada de Seilacher, 1990)

7.2 Origen de los sedimentos de Vallecillo

Los sedimentos fosilíferos de la Formación Agua Nueva en Vallecillo, consisten en calizas litográficas (también referidas como "Plattenskalks") y horizontes arcillosos. Se entiende por calizas litográficas a capas aplanadas y tabulares, eventualmente espaciadas a intervalos de centímetros y milímetros como producto de una estratificación cíclica (Hemleben y Swinburne, 1991). Debido a la naturaleza de este tipo de sedimentos, es posible clasificar a la cuenca de Vallecillo como un depósito de estancamiento ("stagnation deposit").

7.2.1 Calizas litográficas

Generalmente, para la formación de "Plattenkalks" se requiere de un ambiente protegido de sistemas de corrientes de alta energía (cuencas, barreras arrecifales, etc.). Las capas fosilíferas de Vallecillo, pudieron ser depositadas en una depresión situada en la zona externa de una plataforma o rampa, quedando así protegidas de aguas turbulentas producidas por tormentas u otros eventos (ver punto 8.5, figura 8.5)

Las calizas litográficas de Vallecillo están formadas principalmente por carbonatos de origen pelágico provenientes de una fuente biogénica (algas calcáreas, foraminíferos planctónicos, etc.). Analizando y aplicando las observaciones de Hemleben y Swinburne (1991) sobre "Plattenkalks", se infiere que una disminución en la tasa de productividad y/o eventos de disolución de calcita y, por otro lado, un aporte constante del material detrítico a la cuenca, pudieron dar lugar a la alternancia litológica de caliza lutita presente en los sedimentos de Vallecillo.

Fauna excepcionalmente preservada está contenida en las calizas litográficas de Vallecillo. En muchos casos (eg. "Burguess Shale", "Hunsrück Slate", "Mazon Creek", entre otros) la excelente conservación se debe a eventos de rápido enterramiento pero, en las calizas de Vallecillo, parece haber ocurrido un evento de depositación lenta en lugar de una sedimentación rápida. De acuerdo con la figura 7.2 propuesta por Brett y Speyer (1990), la alta compactación de los sedimentos, así como la presencia de laminación fina y tamaño fino del grano, sugieren que estos sedimentos fueron depositados bajo una tasa de sedimentación del orden de los 1-10cm/10³ años.

Oxigenación del agua	Geoquímica del sedimento	Tasa de sedimentación		
		Episódico, rápido (1-50cm/10 ² años)	Intermedio-rápido (10-100cm/10 ³ años)	Bajo-intermedio (1-10cm/10 ³ años)
Disaeróbio anaerobio (euxínico) O ₂ <0.3ml/l	Superficie anóxica. Comúnmente rica en materia orgánica. Comúnmente reducción de sulfatos)	Remplazamiento de pirita bajo. Rastros de partes blandas son raros y escasos	"Bandas" o cuerpos de "mudstone" muy compactado. Presencia de capas muy finas de pirita. Remanentes del periostraco de organismos	Lodo calcáreo ("mudstone") altamente compactado. Laminación fina (milimétrica) y paralela.

Figura 7.2. Relaciones entre los rasgos diagenéticos primarios (Modificada de Brett y Speyer, 1990).

7.2.2 Génesis de Pirita/Goethita

Un concepto general propuesto por Allen (1990), indica que la pirita sedimentaria es frecuentemente encontrada como un componente menor en sedimentos marinos de grano fino. Durante la fase temprana de la historia diagenética del sedimento, tiene lugar la formación de pirita, y esta formación puede ser iniciada solo a pocos centímetros arriba de la zona de interfase del sedimento y la columna de agua, bajo condiciones de baja concentración de oxígeno. Este fenómeno es debido al proceso de reducción de sulfatos realizado por bacterias anaerobias para la descomposición de la materia orgánica en el medio. Este proceso queda representado por



Un producto principal de esta reacción es el Ácido sulfhídrico (H_2S). Este compuesto puede combinarse con hierro reactivo presente en el medio, produciendo Sulfuros de Hierro (FeS). Por otra parte, el rompimiento bacteriano del H_2S libera Azufre (S) de la solución, el cual reacciona con el FeS produciendo Pirita (FeS_2) (Figura 7.3)

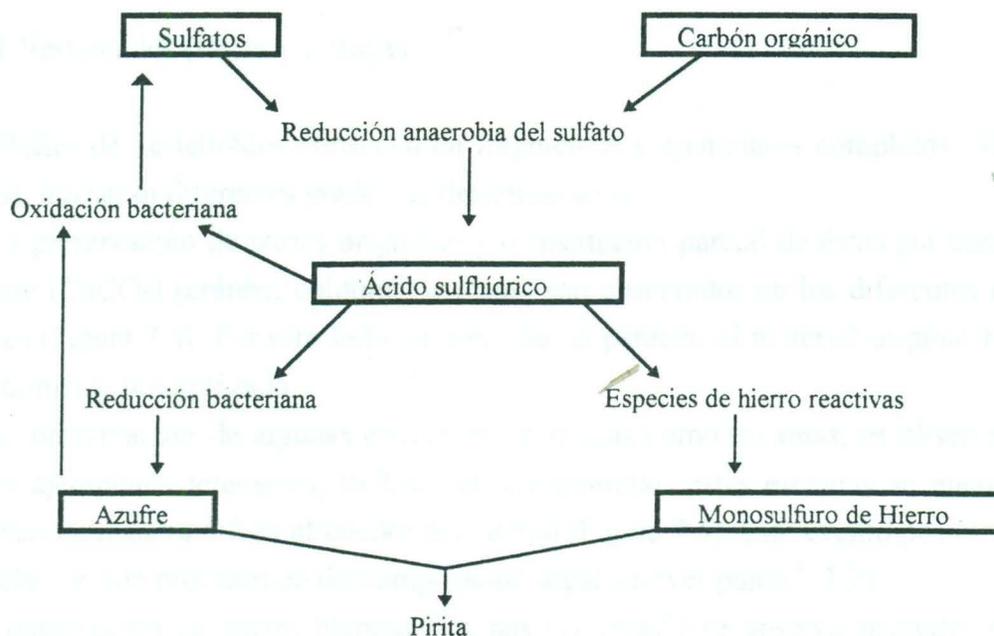


Figura 7.3. Resumen de los procesos geoquímicos relacionados con la formación de pirita (Modificada de Allison et al, 1990)

Este proceso es indicado por las características sedimentológicas y litológicas observadas en la cuenca de Vallecillo durante el depósito tanto del material arcilloso, como de los carbonatos. La ausencia de pirita posiblemente sea causa de un proceso de oxidación postdiagenética de los sedimentos anóxicos (Allison et al, 1990), dando lugar a la formación de óxidos de hierro hidratados y muy insolubles (Faure, 1991; Krauskopf y Bird, 1995) Esto puede explicar la presencia de nódulos de Goethita en las capas arcillosas y las láminas rojas de los carbonatos.

7.3 Fauna de Vallecillo

7.3.1 Descripción de la preservación

Fauna vertebrada e invertebrada con diferentes grados de preservación ha sido reportada para sedimentos fosilíferos de Vallecillo. En general esta fauna presenta un aplanamiento en forma paralela al plano de estratificación, entre otras características. A continuación, se describen las características de preservación mostradas por cada grupo.

7.3.1.1 Vertebrados (Peces y tortugas)

Fósiles de vertebrados consisten en fragmentos y ejemplares completos. Algunos de estos, muestran diferentes grados de desarticulación.

La preservación de partes originales y/o sustitución parcial de éstas por carbonato de calcio (CaCO_3) (cráneo, columna, espinas) son observados en los diferentes grupos de peces (Figura 7.4). Por otro lado, en tortugas, al parecer, el material original ha sido casi totalmente reemplazado.

La preservación de algunas estructuras dérmicas como escamas, es observada en algunos ejemplares teleósteos, incluso, en un ejemplar, estas escamas se encuentran dispuestas de manera difusa alrededor del cuerpo (Figura 7.5). Este evento posiblemente tiene relación con procesos de descomposición orgánica (ver punto 7.3.2).

Conservación de partes blandas internas (vísceras?) se observa parcialmente en algunos ejemplares teleósteos (Figura 7.5). Por el contrario, estas características no han sido observadas en condrosteos y quelonios. Partes originales tales como dientes

pertenecientes a condrósteos y teleósteos han sido rescatadas de los sedimentos de Vallecillo (Figura 7.6).

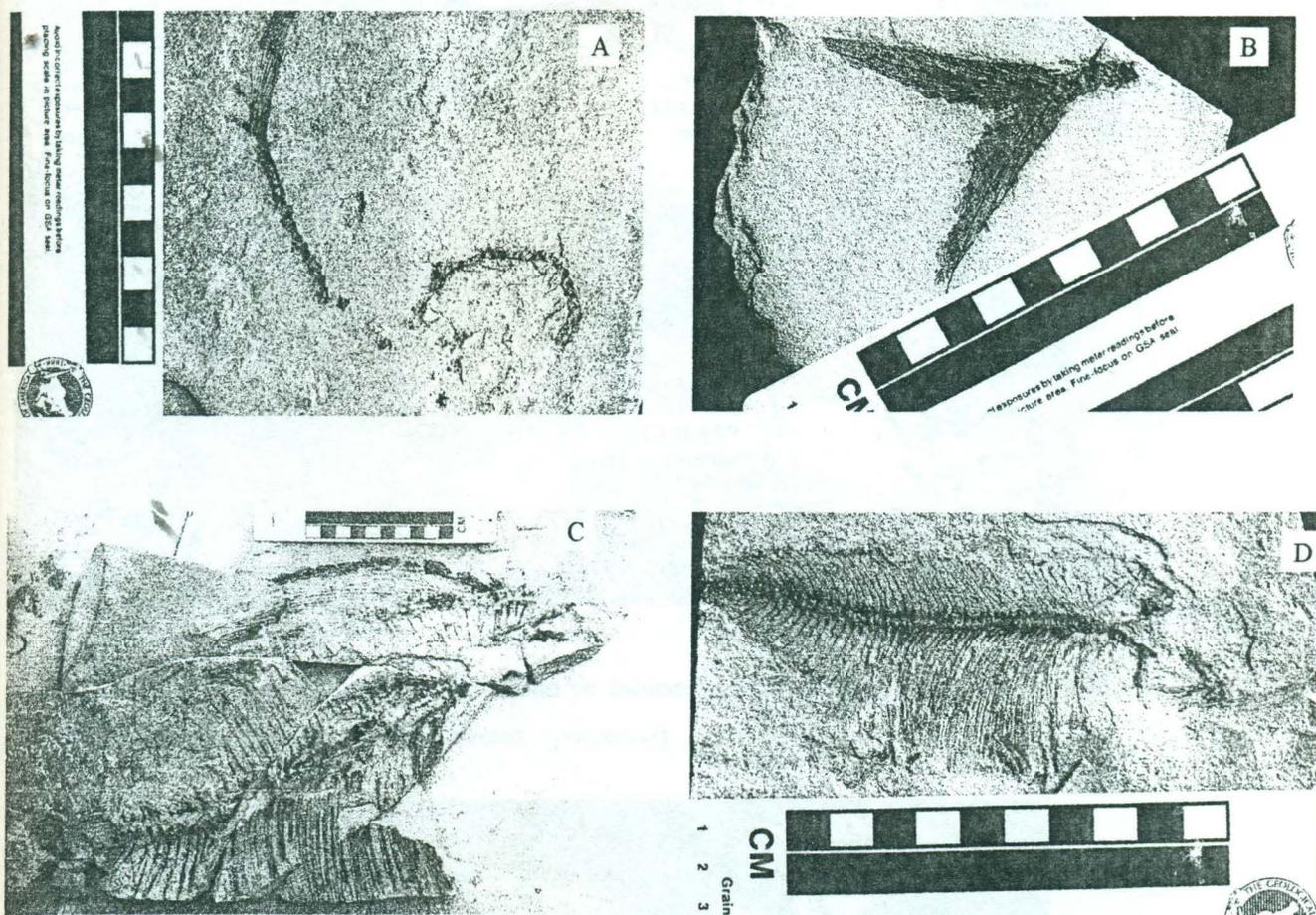


Figura 7.4. Diferentes grados de preservación y desarticulación en los ejemplares de Vallecillo. a) ejemplar de la Familia Ichthyotringidae, con columna fragmentada, b) región caudal (aleta y parte distal de la columna) fragmentada de un percomorfo, c) percomorfo fragmentado por manipulación durante su rescate y d) ejemplar "quasi" completo (percomorfo), que muestra la columna vertebral y las costillas parcialmente sustituidas por carbonato cálcico.

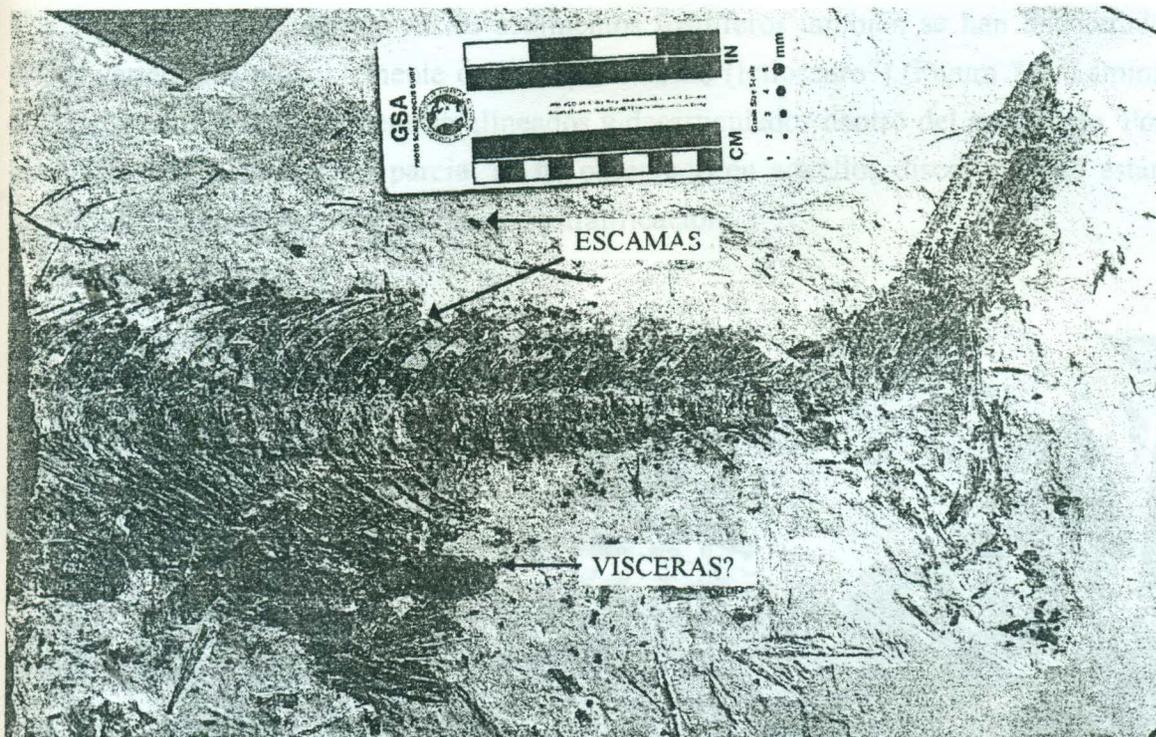


Figura 7.5. Fotografía que muestra la disposición de escamas cicloideas alrededor de un pez teleósteo, además de la preservación de estructuras internas (¿visceras?).

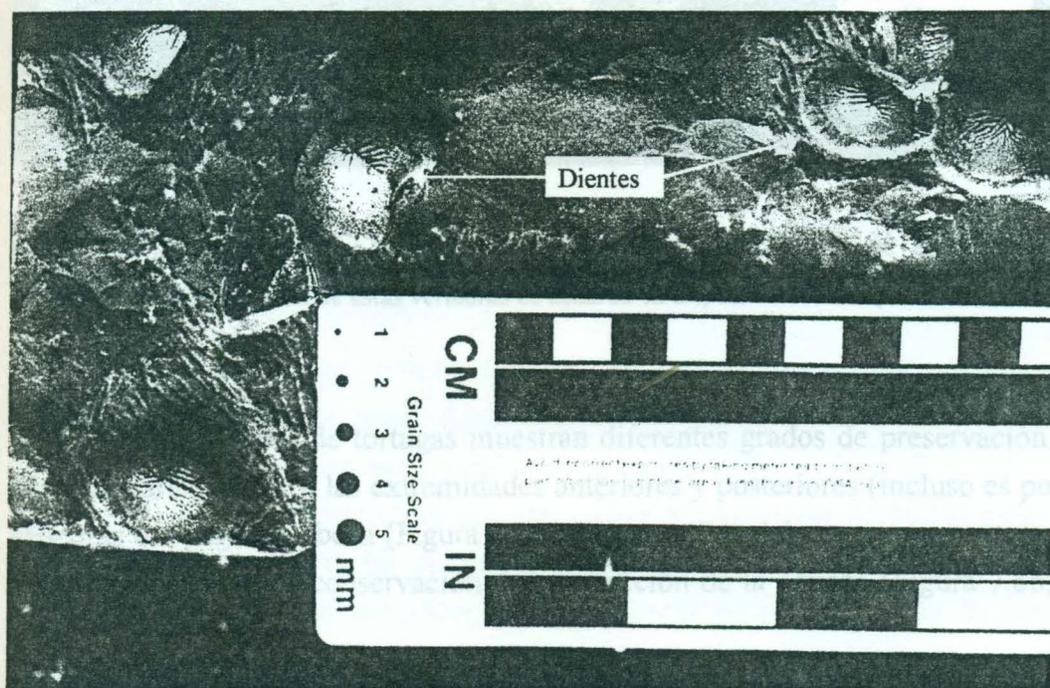


Figura 7.6. Dientes de un ejemplar condrósteo no determinado.

Además de lo anterior, en los sedimentos fosilíferos también se han encontrado discos vertebrales probablemente de un reptil marino (Ictiosauro?) (Figura 7.7, Lámina XXV). Estos discos se encuentran alineados y desarticulados dentro del sedimento. Por otro lado, una deformación parcial se ha observado en aquellos discos que no están dispuestos de forma paralela al plano de estratificación.

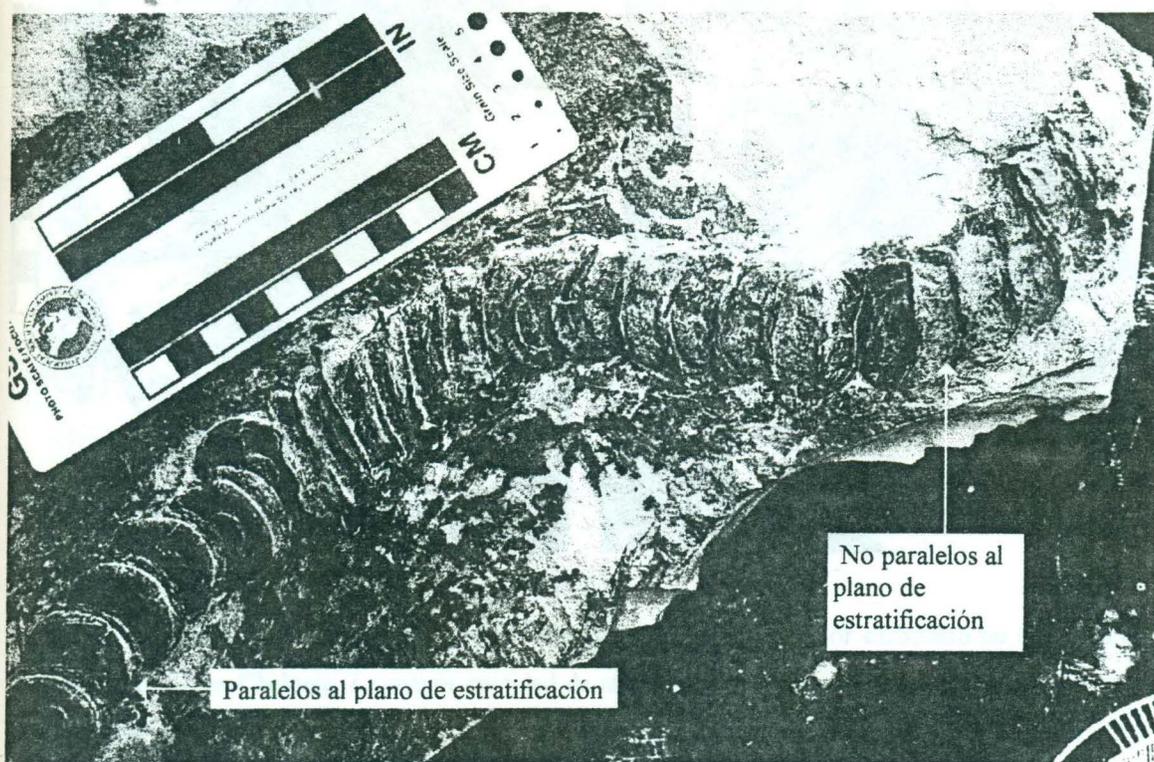


Figura 7.7. Discos vertebrales de reptil marino no identificado. Obsérvese el diferente grado de aplanamiento y deformación de estas vértebras de acuerdo su disposición con respecto al sedimento.

Los especímenes de tortugas muestran diferentes grados de preservación. Uno de los ejemplares, muestra las extremidades anteriores y posteriores (incluso es posible ver vértebras del pie), la cabeza (Figura 7.8a) y las costillas del caparazón, mientras el otro ejemplar solo muestra conservación de una sección de la concha (Figura 7.8b; Lámina XXVI).

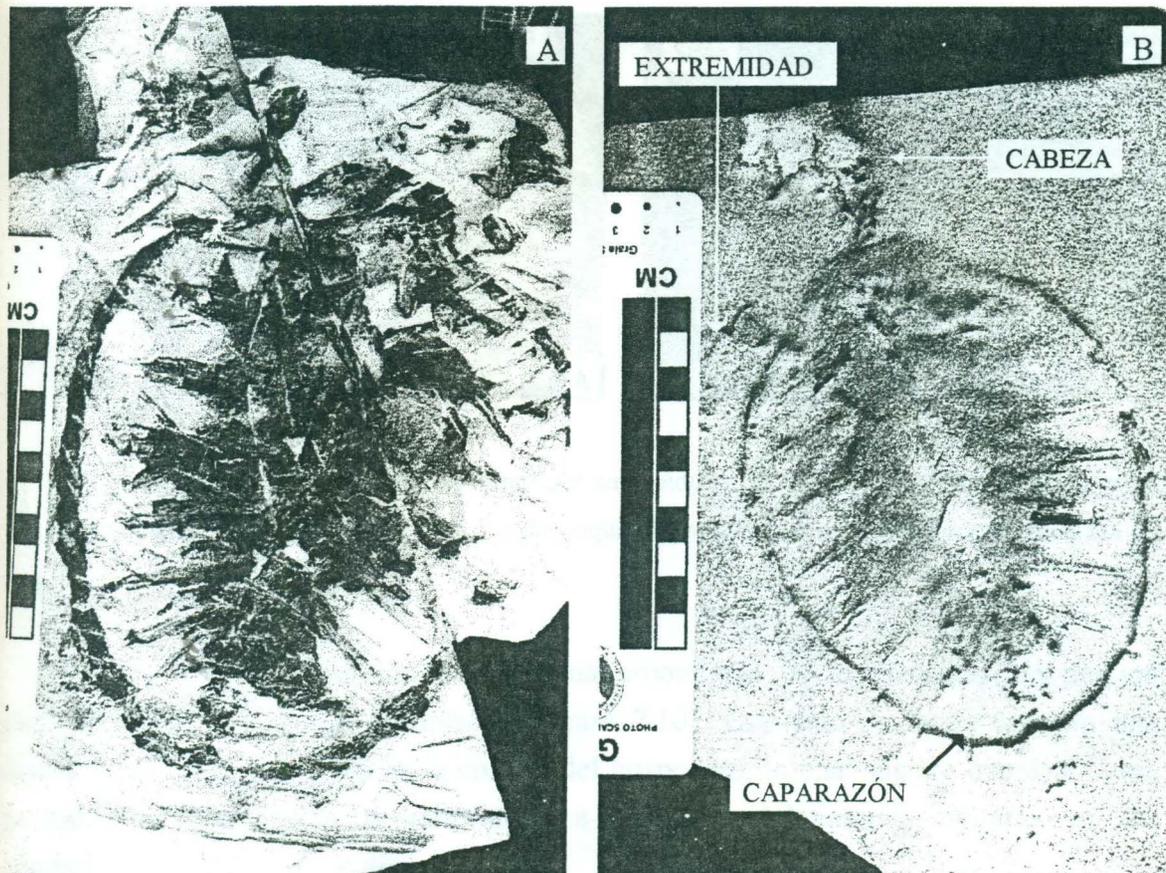


Figura 7.8. Fotografías que ilustran sustitución de partes óseas originales por carbonato de calcio en dos ejemplares del Orden Chelonia. La mayor cantidad de rasgos (cabeza, extremidades, etc.) son observados en el ejemplar de la derecha.

7.3.1.2 Invertebrados (Amonites e inocerámidos)

A diferencia de los vertebrados, en los fósiles amonoideos sólo consisten en impresiones y moldes de partes duras, como el fragmocono y, en ocasiones, la cámara de habitación, como consecuencia del proceso de disolución.

Cuatro ejemplares muestran la preservación de estructuras orgánicas como el sifón; dos de ellos presentan dicha estructura fragmentada (Figura 7.9) mientras los demás ejemplares la conservan completa. Esta diferencia en la calidad de la preservación puede tener relación con procesos diagenéticos (como el aplanamiento) que se discutirán más adelante.

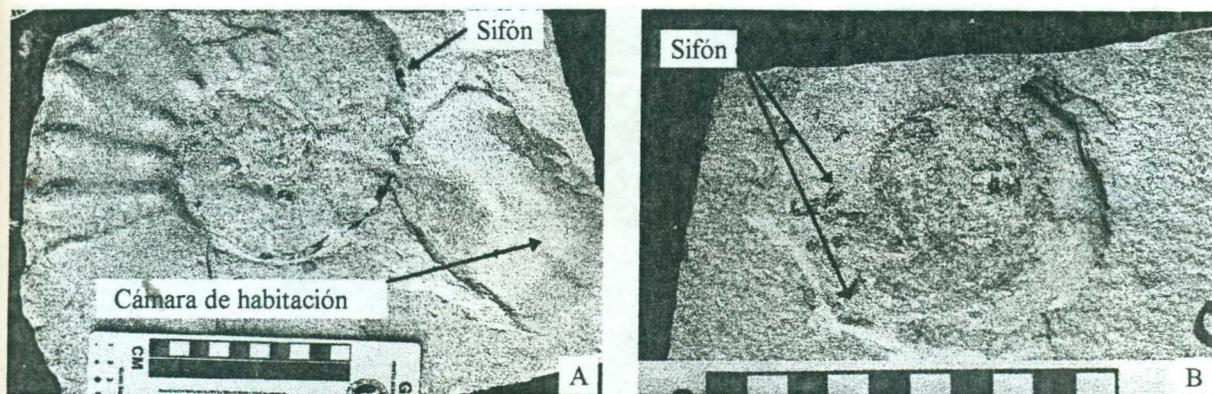


Figura 7.9. Conservación del sifón en dos ejemplares amonoideos. A) ejemplar con sifón completo, y, B) ejemplar con sifón fragmentado. Obsérvese que el ejemplar A presenta la cámara de habitación separada del fragmocono.

Un rasgo único presente en la fauna amonoidea es la presencia de perizoo (ostiones?) en uno de los ejemplares (Figura 7.10). Este tipo de fauna muestra una distribución espacial caótica en la concha del hospedero, lo cual sugiere que esta fauna se fijó en el fragmocono posteriormente a la muerte del amonite, evitando así las condiciones anóxicas del sedimento.

La separación del fragmocono y la cámara de habitación es observada en algunas impresiones, como en el caso del ejemplar de la figura 7.9-A. Es posible que este evento haya ocurrido también posterior a la muerte del organismo y previamente a la depositación final del mismo.

Por otra parte, los inocerámidos muestran dos rasgos tafonómicos importantes: 1) valvas desarticuladas y/o unidas de estos ejemplares han sido encontradas en las calizas litográficas de la localidad. Esto sugiere que estos organismos pueden ser de un origen autóctono y no alóctono, como el resto de los ejemplares y, 2) diferentes ejemplares de inocerámidos muestran recristalización de su concha original (aragonita) a calcita más estable, quedando la concha bien preservada (Figura 7.11). La causa de la conservación de la concha de estos ejemplares, a diferencia de la concha disuelta en ammonites, tiene su explicación en las diferencias en el arreglo de las conchas de ambos grupos.



Figura 7.10. Presencia de perizoo en un ejemplar ammonoideo.

7.3.2 Causas de la preservación

7.3.2.1 Composición química de fósiles/condiciones químicas del medio

La fauna de Vallecillo muestra un diferente grado de preservación (disolución total de partes duras de CaCO_3 y remplazamiento y/o conservación original de partes duras de fosfato de calcio). Este fenómeno puede ser explicado, en primer lugar, por el diferente grado de estabilidad del material constituyente, de acuerdo a su composición química. Por ejemplo, es conocido que el grado de estabilidad del fosfato cálcico es mayor que el del sílice, el cual, a su vez es mayor que el de la calcita y la aragonita, (Brett, 1990). Por otro lado, este factor puede conjugarse con las condiciones químicas del agua, como su pH, por ejemplo. En el caso de Vallecillo, un pH ácido en un medio reductor parece ser la causa principal de la disolución del CaCO_3 .

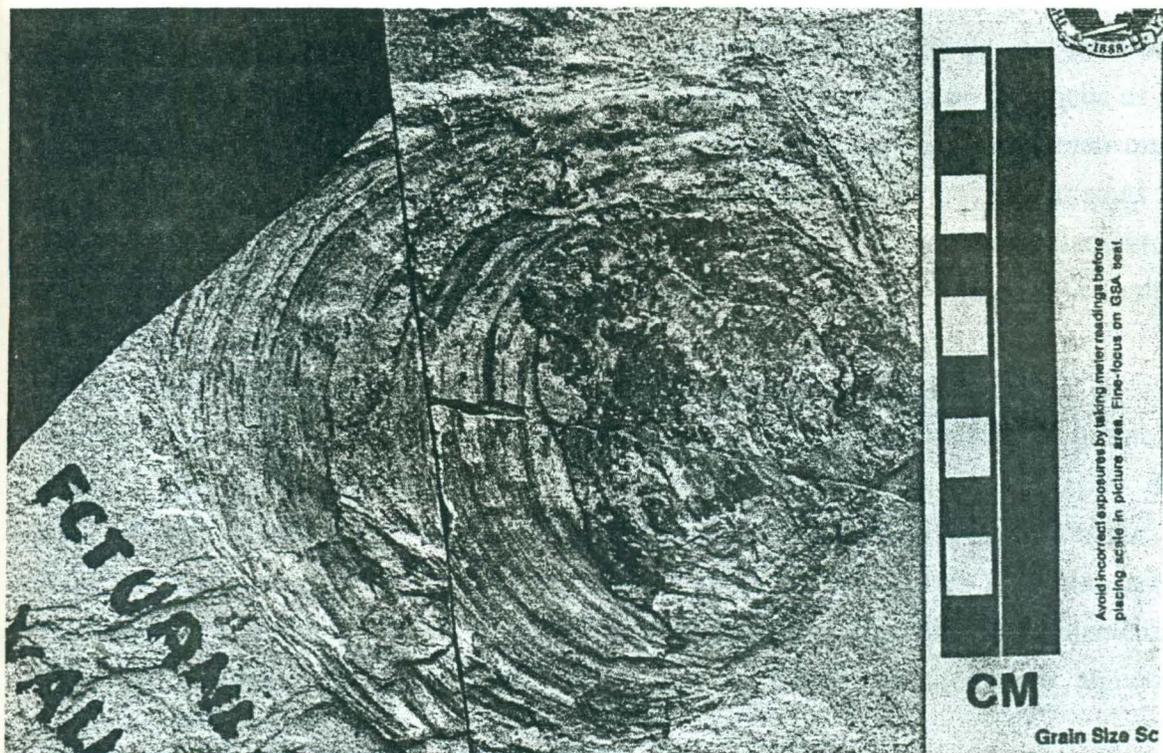


Figura 7.11. Valva parcialmente disuelta de un inocerámido. La aragonita original fue recrystalizada a calcita más estable, y ésta disuelta parcialmente "a posteriori".

En un ambiente anóxico marino, la degradación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante el proceso de reducción de sulfatos (SO_4) lo cual, produce, como subproductos, ácido sulfhídrico (H_2S) y ácido carbónico (HCO_3^-). Posteriormente, los iones hidronio (H^+) producidos como consecuencia de la disociación del H_2S ($\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{S}^{2-}$) y HCO_3^- ($\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$) reaccionan con el CaCO_3 disponible en el medio, disolviéndolo. Este proceso queda expresado por las siguientes fórmulas:



En conclusión, en medios reductores con un pH ácido, los carbonatos presentes en las partes duras de organismos son disueltos, mientras las estructuras con otra composición química (como los huesos de fosfato cálcico de los vertebrados) no son afectadas por este proceso (Wild, 1990; Faure, 1991; Krauskopf y Bird, 1995).

Una excepción a este evento parece ser la presencia de conchas de inocerámidos recristalizadas. Al parecer, el arreglo estructural de los constituyentes de la concha es la causa de la preservación. Las conchas de inocerámidos presentan un periostraco muy grueso, que cubre capas calcáreas de aragonita dispuestas en formas de prismas o diminutas lajas laminadas (nácar). Este periostraco, que junto con los demás elementos de la concha representa el 12% del peso total del organismo, protege a la concha contra la disolución (Barnes, 1990).

Por otro lado, la conservación de estructuras internas, como el sifón de los amonites y las vísceras de peces, pueden tener explicación en su composición química. Es sabido que partes blandas de ambos grupos están constituidas por proteínas de naturaleza más estable, y por lo tanto, más resistentes a los procesos de disolución y diagénesis. Aún así, esto no explica por qué no todos los ejemplares presentan esta preservación. Es probable que los diferentes grados de descomposición y mineralización sufrido por la fauna, pueda explicar el por qué de la presencia en sólo algunos ejemplares.

7.3.2.2 Descomposición orgánica ("Decay Processes")

El proceso de descomposición, combinado con la anoxia en el medio de depósito, es uno de los factores responsables en la preservación extraordinaria de la fauna de Vallecillo.

En un medio aerobio, los microorganismos descomponen la materia orgánica usando el O_2 como principal aceptor de electrones, produciendo CO_2 como subproducto:



Cuando hay un descenso en la concentración de oxígeno, los microorganismos anaeróbios se ven forzados a usar aceptores de electrones más eficientes (Allison, 1990). En el caso de Vallecillo, por ser una cuenca de ambiente marino, es muy probable que la vía de descomposición de la materia orgánica se haya llevado a cabo mediante la reducción de sulfato ($2CH_2O + SO_4 \rightarrow H_2S + 2HCO_3$). Esto convierte el medio en una cuenca euxínica, dando por consiguiente una disminución en la tasa de descomposición

de la materia orgánica, iniciándose así, el proceso de preservación de partes blandas (sifón de ammonites y vísceras de peces) y otras estructuras.

7.3.2.3 Mineralización

Bajo condiciones normales, los procesos de descomposición se inician tras la muerte del organismo, y continúan hasta que el cadáver es totalmente destruido y mineralizado (Allison, 1990). Si la mineralización sucede después de un proceso prolongado de descomposición, el nivel de preservación será bajo, pero, si la mineralización sucede antes de la descomposición apreciable, el nivel de preservación será alto.

Posiblemente, estructuras como sifón, vísceras, escamas, huesos entre otras, fueron mineralizados ya en el medio anóxico, donde el proceso de descomposición aerobia ya no tiene lugar. Es posible que algunos de los ejemplares de Vallecillo hayan permanecido flotando por espacio de días y/o semanas, siendo parcialmente descompuestos de forma aerobia previamente a su depositación y mineralización. Esto se refleja por: 1) el diferente grado de preservación y 2) la fragmentación y desarticulación de los organismos, como el caso de algunos peces aulapiformes o bien, la presencia de escamas dispuestas caóticamente alrededor de la columna de un teleósteo.

7.3.3 Causa del aplanamiento de los ejemplares

Tanto el proceso de descomposición orgánica de cadáveres, como la presión resultante de los sedimentos, son los principales causantes del aplanamiento observado en el material fósil de Vallecillo. Durante este proceso dos aspectos deben ser considerados:

1. La geometría del sedimento, donde el "mudstone" calcáreo de las calizas litográficas es poco resistente a la presión de los sedimentos suprayacentes y,
2. La morfología de los organismos, siendo la mayoría de los ejemplares (peces y fósiles) aplanados en forma lateral, lo que permitió, al momento de ser depositados en el fondo, una orientación paralela al plano de estratificación.

La forma en que ambos factores actúan, está en función del tipo de organismo. Por ejemplo, los amonites sufren una compactación en dos fases (fase de compresión de la cámara y fase de compresión del fragmocono (Figura 7.12), asociado a la compactación del sedimento (Briggs, 1990). Posiblemente los amonites en Vallecillo fueron parcialmente comprimidos y posteriormente disueltos por agua con bajo pH contenida en los sedimentos, dejando únicamente moldes (Wild, 1990). Por otro lado, en otros organismos tales como los peces, el primer evento de aplanamiento es producido por el colapso de las partes volátiles por descomposición y posteriormente, una vez en el fondo marino, la presión de los sedimentos continúan el proceso.

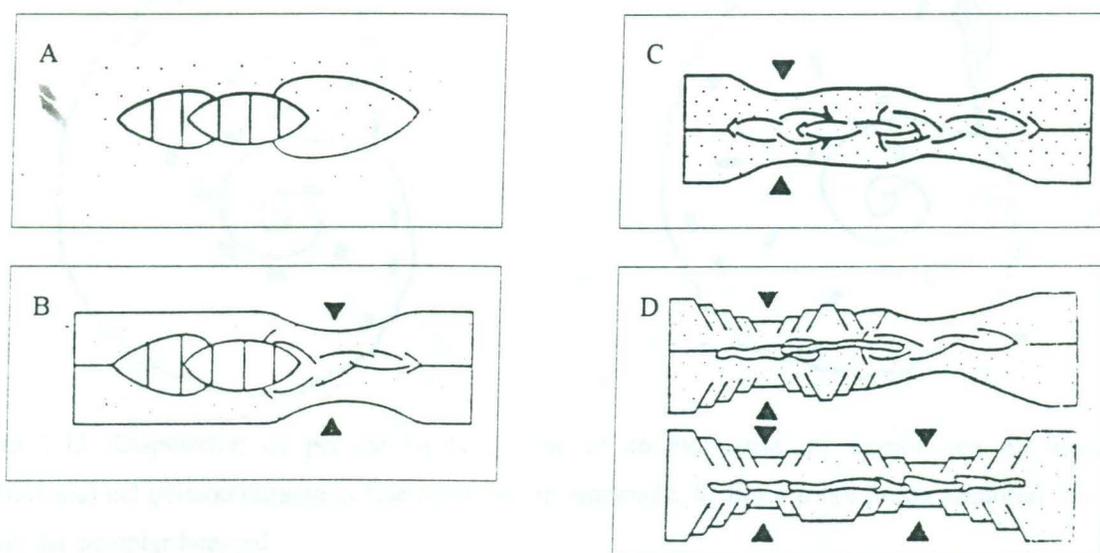


Figura 7.12. Preservación y aplanamiento de un amonite. A) Concha inalterada, B) Compactación de la cámara, C) Compactación del fragmocono, D) Rompimiento de la concha por descalcificación. A este evento puede seguir una pérdida de la concha original por disolución (De acuerdo a Briggs, 1990).

7.3.4 Otras características de la fauna

a) Presencia de perizoo

Es posible que la presencia de perizoo (ostiones?) en uno de los ejemplares de amonites, pueda ser el reflejo de las condiciones anóxicas del medio.

La distribución del perizoo se muestra de forma caótica y no en un arreglo determinado (alineación). Esta disposición caótica es una evidencia de que estos organismos fueron fijados al fragmocono del ammonite después de la muerte del mismo y no durante alguna etapa del ciclo de vida (Figura 7.13). El perizoo, generalmente necesita un sustrato duro para fijar sus larvas y completar su ciclo de vida; la imposibilidad de fijarse en un medio anóxico, lo obliga a establecerse en las pocas superficies disponibles fuera y/o encima de la zona de contenido mínimo de oxígeno (Figura 7.14), que por lo general se encuentra al nivel o a escasos centímetros por encima del sedimento (Stinnesbeck, comunicación personal).

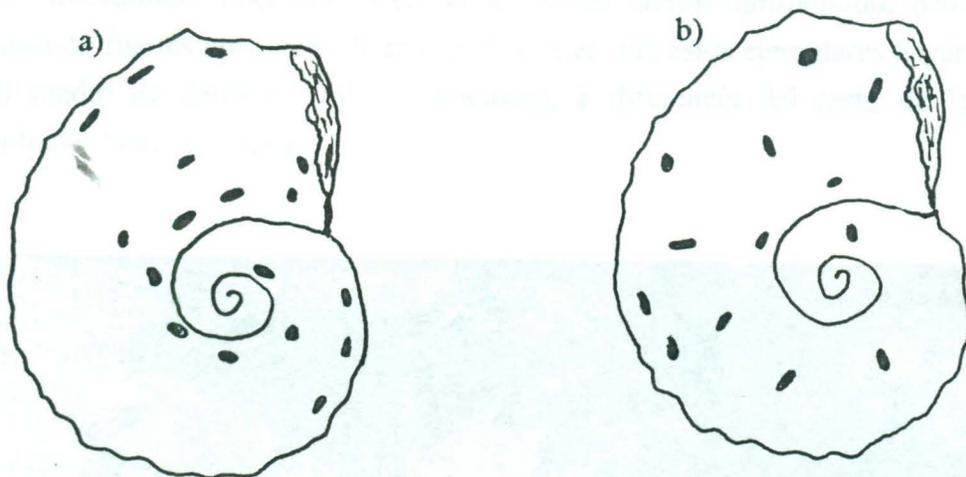


Figura 7.13. Disposición de perizoo en la concha de un ammonite. a) fijación (en un arreglo determinado) del perizoo durante la fase adulta de un ammonite, b) fijación (en forma aleatoria) tras la muerte del ejemplar huésped.

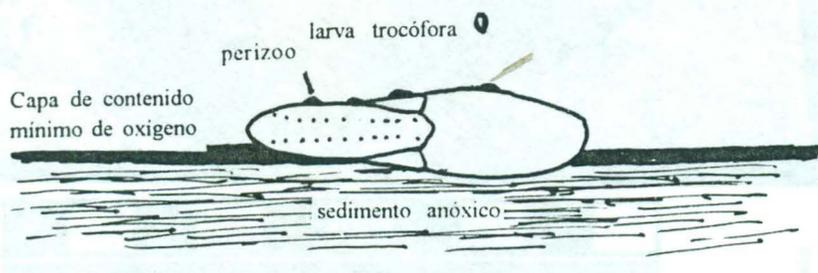


Figura 7.14. Fijación de ostiones en la concha de un ammonite depositado en un medio anóxico.

b) Presencia de inocerámidos con valvas unidas.

Como se mencionó en párrafos anteriores, las valvas unidas de inocerámidos han sido encontradas en las canteras de Vallecillo (Figura 7.15). Esta condición sugiere dos eventos oceanográfico-ecológicos dentro de la cuenca anóxica de Vallecillo:

1. La presencia de ejemplares con las valvas unidas, en un medio sedimentario, indica que las condiciones de dicho ambiente corresponden a un medio de baja energía con poco o sin transporte del material (Beherensmayer, 1990).
2. Si los inocerámidos encontrados en Vallecillo no fueron transportados debido a la ausencia de fuertes corrientes, lo más probable es que estos ejemplares hayan vivido en el medio de depósito (fauna autóctona), a diferencia del resto de la fauna encontrada (fauna alóctona).



Figura 7.15. Ejemplar inocerámido que presenta ambas valvas unidas.

¿Cómo la fauna necto-bentónica, especialmente los representantes de la Familia Inoceramidae, pudo haber vivido bajo condiciones de anoxia?. Los inocerámidos presentan una relación quimiosimbiótica con bacterias autolitotróficas que pueden oxidar el H_2S del medio. Estas bacterias quimiosintéticas, están asociadas a las branquias del organismo, suministrando el oxígeno que el organismo requiere para sus funciones metabólicas, permitiéndole vivir bajo condiciones disóxicas y/o anóxicas (Sageman et al, 1991; Savrda et al, 1991)

DISCUSIÓN

7.4 Reconstrucción del episodio tafonómico en la cuenca de Vallecillo

Los eventos que dieron lugar a la formación del yacimiento fosilífero de Vallecillo, pueden resumirse en los siguientes pasos.

1. Formación de una cuenca euxínica en una plataforma o rampa, seguida por la depositación de micrita calcárea, lo cual dio origen a la formación de calizas litográficas.
2. Sincrónicamente a la depositación, ocurrió la muerte (no masiva) de organismos nectónicos (peces, ammonites, tortugas), los cuales pudieron permanecer flotando durante algunos días sufriendo procesos de descomposición aerobia, y la muerte "in situ" de los organismos necto-bentónicos (inocerámidos) que habitaban el fondo de la cuenca.
3. La finalización de la degradación aerobia debida al ingreso de los cadáveres a la cuenca euxínica. Algunos cadáveres conservaron sus partes blandas. Estos organismos quedaron dispuestos en forma paralela al plano de estratificación.
4. Comienza la mineralización del material, iniciándose así la preservación de las partes blandas y los esqueletos.
5. Ocurre la compactación y la diagénesis del sedimento, causando aplanamiento de los especímenes.

VIII

DISCUSIÓN

En gran parte de la zona de Monte...

Los resultados de la...

La...

Las...

Caracteres en la cantidad de...

Por otra parte, la...

En gran parte del noreste de México, la Formación Agua Nueva consiste en calizas micríticas laminadas intercaladas por lutitas negras. Esta secuencia, por lo general, no presenta características fosilíferas.

En Vallecillo, N.L., afloran como miembro litológico de la Formación Agua Nueva, calizas litográficas de espesor variable (5cm-15cm) que se caracterizan por presentar fósiles de vertebrados preservados de forma excepcional. ¿Cuáles son las condiciones ambientales que favorecieron la buena preservación de los fósiles de Vallecillo?. La reconstrucción del ambiente de depósito de las calizas litográficas de Vallecillo es posible de acuerdo a sus características sedimentarias y faunísticas.

Las calizas litográficas de Vallecillo consisten principalmente en mudstone calcáreo (5%-10% de componentes) con laminación paralela fina. Fauna solamente planctónica y nectónica fue encontrada en los sedimentos, estando el bentos totalmente ausente. Por otro lado, óxidos de hierro, como la goethita (<8%) fueron detectados en sedimentos arcillosos de Vallecillo. Estos óxidos pueden representar un episodio de oxidación a partir de sulfuros de hierro, como la pirita (Faure, 1991). Comparando estas características con el modelo de facies propuesto por Wilson (1975), puede asegurarse que la secuencia de Vallecillo fue depositada en una cuenca anóxica de baja energía.

Variaciones en la cantidad de componentes (mudstone-wackestone) son observadas en diferentes niveles del perfil a partir de los últimos 2m. Estas fluctuaciones coinciden con los datos de difracción de rayos X los cuales muestran variaciones en la abundancia relativa de calcita, filosilicatos y cuarzo. Estos resultados sugieren cambios en la productividad y/o disolución de carbonato de calcio, dando origen a las secuencias de calizas litográficas y lutitas de Vallecillo (de Boer, 1991). Estos eventos, generalmente producen un mayor espesor en las capas de carbonatos que en las capas de lutitas (Einsele y Ricken, 1991), como en Vallecillo, donde el espesor de la lutita varía de 2cm-6cm, mientras que la caliza presenta variaciones de 5cm-15cm.; quedando descartada la posibilidad de que las capas de Vallecillo sean producto de cambios en el aporte de terrígenos.

Por otra parte, la disolución de CaCO_3 pudo haber ocurrido debido al establecimiento de un medio anóxico rico en materia orgánica y un pH relativamente ácido. De esta manera, tanto este evento de disolución, como los ciclos de productividad, pudieron dar origen a las alternancias rítmicas caliza/lutita de Vallecillo (Einsele y Ricken, 1991).

Las variaciones en el porcentaje de minerales en el análisis de roca completa pueden ser el producto de cambios climáticos producidos por ciclos del orden de 21Ka (precesión) ó 40-41 Ka (oblicuidad) dentro de la frecuencia de Milankovitch (Einsele y Ricken, 1991; Fisher, 1991). Por otro lado, los cambios climáticos (cambios de un régimen húmedo a uno árido) son inferidos por la presencia de minerales arcillosos tales como la esmectita y la caolinita. Estos cambios pueden ser la principal causa de la laminación primaria mostrada por los sedimentos (Adatte et al 1994), junto con posibles cambios de menor orden en la actividad orgánica en el medio (Vera-Torres, 1994).

Es necesario profundizar los estudios mineralógicos con el fin de entender mejor las causas principales y la naturaleza de la sedimentación cíclica en Vallecillo.

Fauna vertebrada e invertebrada fue encontrada en las capas fosilíferas de Vallecillo. Entre la microfauna se encontraron un total de cinco especies de foraminíferos planctónicos (*Whiteinella paradubia*, *Whiteinella archaeocretacea*, *W. brittonensis*, *Hedbergella delrioensis*, y *Heterohelix globulosa*), las cuales fueron punto de apoyo, junto con los ammonites, para la determinación de la edad de los sedimentos fosilíferos. La causa de la baja diversidad de especies aún no es conocida, sin embargo, procesos de recristalización y minelarización observados en la macrofauna, da evidencias de la disolución parcial o total del CaCO_3 , lo cual sugiere que la microfauna, puso ser afectada por este proceso.

La fauna invertebrada consistió en tres géneros de ammonites (*Mammites*, *Spathites* y *Collignonicerias*) además de 10 ejemplares de la Familia Inoceramidae. La fauna vertebrada está representada por ejemplares condrosteos del orden Selachii (tiburones) y tres órdenes de peces teleosteos (Aulapiformes, Ichthyodectiformes y Beryciformes). Tres familias del orden Aulapiformes pudieron ser determinadas de forma preliminar (Enchodontidae, Dercetidae e Ichthyotringidae), mientras que en el orden Beryciformes, tres grupos morfológicamente diferentes pudieron ser identificados, pero no determinados taxonómicamente a nivel de especie.

La ictiofauna de Vallecillo muestra una amplia distribución geográfica durante el Cretácico Superior. De acuerdo a Carrol (1988) y a Everhart y Everhart (1998), algunos ejemplares similares a los de Vallecillo, han sido reportados para sedimentos de Kansas y Dallas, en EUA, y Centro de Canadá, así como en la parte central de México (Applegate, 1992).

Otros vertebrados como tortugas (2 ejemplares) y vértebras de un reptil (no determinado) también forma parte de la fauna de Vallecillo.

A excepción de los inocerámidos, la fauna de Vallecillo es de origen alóctono y de hábitos exclusivamente planctónico/nectónicos. Estos organismos pudieron haber vivido bajo condiciones de mar abierto en las aguas pelágicas de una plataforma externa.

La ausencia de bentos (ichnofauna, bioturbadores, foraminíferos, etc.) sugiere, junto con las evidencias de la litología y la mineralogía, la presencia de condiciones anóxicas en el medio de depósito (Bromley, 1996). Mientras a concentraciones de oxígeno mayores a 1.0ml/l (condiciones óxicas), la endofauna es diversa y hay buen desarrollo de los esqueletos carbonatados, a concentraciones menores a 0.1ml/l (condiciones anóxicas), los sedimentos laminados y la ausencia de macrofauna bentónica es característica (Loeblich y Tappan, 1964; Sageman et al, 1991; Oschman, 1991; Farriman and Eglinton, 1991) Ver figura 8.1.

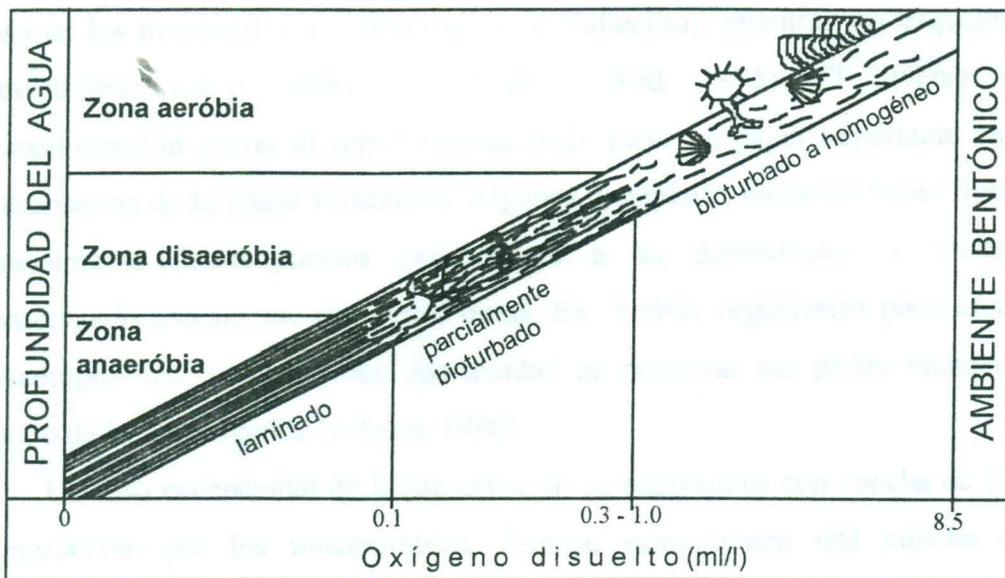


Figura 8.1. Modelo esquemático de facies según el contenido de oxígeno en cuencas (Modificado de Oschman, 1991).

La presencia de fauna necto-bentónica autóctona del grupo de los inocerámidos es posible en estos sedimentos debido a que estos organismos establecen asociaciones simbióticas con bacterias quimiosintéticas. Éstas, al oxidar el H_2S del medio, proporcionan el oxígeno necesario a los inocerámidos, permitiéndole vivir bajo condiciones reductoras (Savrda, 1991).

Además, estas condiciones anóxicas favorecieron la excelente preservación de la fauna contenida en las calizas litográficas de Vallecillo. Esta anoxia es debida a la presencia de bacterias quimiosintéticas menos eficientes en la descomposición de la materia orgánica (Allison, 1990).

Diverso grado de preservación es observado en la fauna fósil. Mientras algunos ejemplares presentan sólo la preservación de esqueletos (peces y reptiles), otros ejemplares muestran impresiones de las partes blandas (amonites). Este fenómeno es la respuesta del material fósil al medio. En cuencas euxínicas de pH bajo, el material de origen carbonatado tiende a presentar menos estabilidad que el de composición de fosfato de calcio (Brett, 1990), sufriendo diferentes grados de disolución (como en el caso de los inocerámidos y ammonites de Vallecillo), mientras los esqueletos fueron parcialmente reemplazados (Krauskopf y Bird, 1995). El diverso grado de descomposición previa el sepultamiento pudo jugar un papel importante en la buena preservación de la fauna vertebrada. Algunos ejemplares pudieron haber flotado y sido parcialmente descompuestos previamente a su depositación y mineralización, conservando únicamente sus partes duras. En cambio, organismos poco afectados por descomposición, tuvieron más oportunidad de preservar sus partes blandas, una vez dentro de la zona anóxica (Allison, 1990)

Un caso excepcional de la preservación de organismos con concha de CaCO_3 está representado por los inocerámidos. Aunque estos tienen una concha de origen aragonítico (menos estable que la calcita) presentan una concha mas resistente debido a la presencia de un periostraco de gran espesor, que proporciona una mayor resistencia a la concha contra la disolución (Barnes, 1989).

Preservación de partes blandas, probablemente vísceras, en el caso de los peces o bien, el sifón en el caso de los ammonites, puede darse como causa de la presencia de cierto tipo de proteínas (citarlas), las cuales tienen mayor estabilidad y resistencia que los minerales constituyentes de las partes duras (Wild, 1990; Viohl, 1990).

Otra característica importante mostrada por la fauna fósil es el aplanamiento y su disposición paralela al plano de estratificación. Este aspecto es debido, en primer lugar,

al colapso de las partes volátiles (músculos, tejidos, tendones) provocado por un proceso de descomposición aerobia previo a la depositación y mineralización y, en segundo lugar, a la carga de los sedimentos sobre el material una vez depositado en el fondo de la cuenca (Allison, 1990).

Una edad tentativa del Turoniano fue asignada a los sedimentos fosilíferos de Vallecillo, N.L., de acuerdo a la presencia de foraminíferos planctónicos y amonites a diferentes niveles de un perfil de 4 m.

De acuerdo a las primeras apariciones de *Heterohelix globulosa* y *Whiteinella archaeocretacea* y la última presencia de *Whiteinella paradubia*, junto con la presencia de *Hedbergella delrioensis* y *Whiteinella brittonensis*, un rango de Turoniano-Coniaciano Inferior fue asignado para los últimos dos metros del perfil. A lo largo de las capas correspondientes a los primeros dos metros, se observa la ausencia y/o mala preservación de microfauna, por lo tanto, a estos niveles, la determinación de la edad mediante foraminíferos planctónicos, no pudo ser realizada.

De acuerdo a los rangos de distribución temporal (Turoniano Inferior-Turoniano Superior) de los géneros *Mammites*, *Spathites* y *Collignoniceras*, presentes en los primeros dos metros de la secuencia fosilífera, una edad de Turoniano fue asignada para estos horizontes, apoyando la indicación de los foraminíferos planctónicos.

Aunque el rango de edad dado por los foraminíferos planctónicos sea Turoniano-Coniaciano Inferior, los géneros de amonoideos presentes en Vallecillo, no han sido reportados para la parte temprana del Coniaciano. Si se considera la monotonía de los sedimentos fosilíferos de Vallecillo a lo largo de los 4m del perfil, independientemente de los niveles en donde se haya encontrado los diferentes tipos de fauna, es posible que toda esta secuencia tenga una edad de Turoniano y no de Turoniano-Coniaciano Inferior, como lo ilustran los foraminíferos planctónicos.

Modelo Hipotético

Hasta ahora se han discutido las principales evidencias litológicas y faunísticas que permiten reconstruir el escenario de depósito en una cuenca euxínica de baja energía, sedimentación cíclica, etc., pero ¿Cuáles fueron los eventos que ocurrieron durante la

génesis de esta cuenca euxínica y cuáles causaron las condiciones de baja concentración de oxígeno?

Considerando algunos eventos eustáticos y tectónicos ocurridos durante el desarrollo paleogeográfico del noreste de México y los datos aportados por las observaciones hechas a la fauna presente, es posible reconstruir un modelo hipotético de la cuenca de Vallecillo.

Uno de los principales rasgos utilizados para la reconstrucción del modelo hipotético de Vallecillo, es la litología. Para la formación de las calizas litográficas se requieren ambientes protegidos de acción de tormentas y corrientes de alta energía mediante barreras, tales como formaciones arrecifales (Viohl, 1991), o bien, mediante la depositación de carbonato en cuencas situadas dentro de la plataforma. Hemleben y Swinburne (1991) proponen 5 modelos que explican la formación de calizas litográficas partiendo desde la laguna, lago, plataforma interna y plataforma externa, mediante la comparación de los diferentes tipos de sedimentos que puede presentarse en cada ambiente (Figura 8.2),

Las capas de Vallecillo, como se ha mencionado con anterioridad, consisten en secuencias hemipelágicas, depositadas directamente de la suspensión de carbonato de calcio, con secuencias evaporíticas o conglomerados totalmente ausentes, comúnmente depositados en aguas someras y cercanas a la costa. Estas características coinciden con los modelos propuestos por los autores mencionados, por lo que, de acuerdo a esta clasificación, los sedimentos fosilíferos de Vallecillo parecen haber sido depositados en una cuenca euxínica localizada en la plataforma externa.

Por otro lado, algunas características de los sedimentos fosilíferos tales como laminación fina paralela, la ausencia de bentos y la presencia de óxido de hierro secundario, sugiere la ausencia de oxígeno en la cuenca de Vallecillo. Uno de los factores que influyen en la formación de condiciones anóxicas en un medio de depósito, es el estancamiento del agua por un descenso en las corrientes. Además, la presencia de barreras físicas (arrecifes, barras de arena, etc) también pueden producir el aislamiento y por consiguiente el estancamiento de la columna de agua dentro de la cuenca.

Es posible que la cuenca de Vallecillo haya estado limitada, hacia la zona sur, por un elemento positivo (Sierra de Picachos?). Esto es reflejado por la presencia de sedimentos de la Formación San Felipe, que de acuerdo a Bishop (1970), fueron depositados durante todo el Turoniano en lugar de la Formación Agua Nueva. Según este autor, en la Sierra de Picachos, hubo un cambio en el régimen sedimentario durante el Cretácico Superior (Turoniano). Mientras hacia el norte y el sur de esta localidad se depositaba una secuencia de carbonatos pelágicos y lutitas (Formación Agua Nueva), en la zona de Picachos dominaba la depositación de sedimentos detríticos (lutitas, areniscas) pertenecientes a la Formación San Felipe. Estos sedimentos indican, que la batimetría en la zona de Picachos, era menor que en otras localidades situadas hacia el norte (Vallecillo) o el sur (Monterrey), donde la Formación Agua Nueva fue depositada.

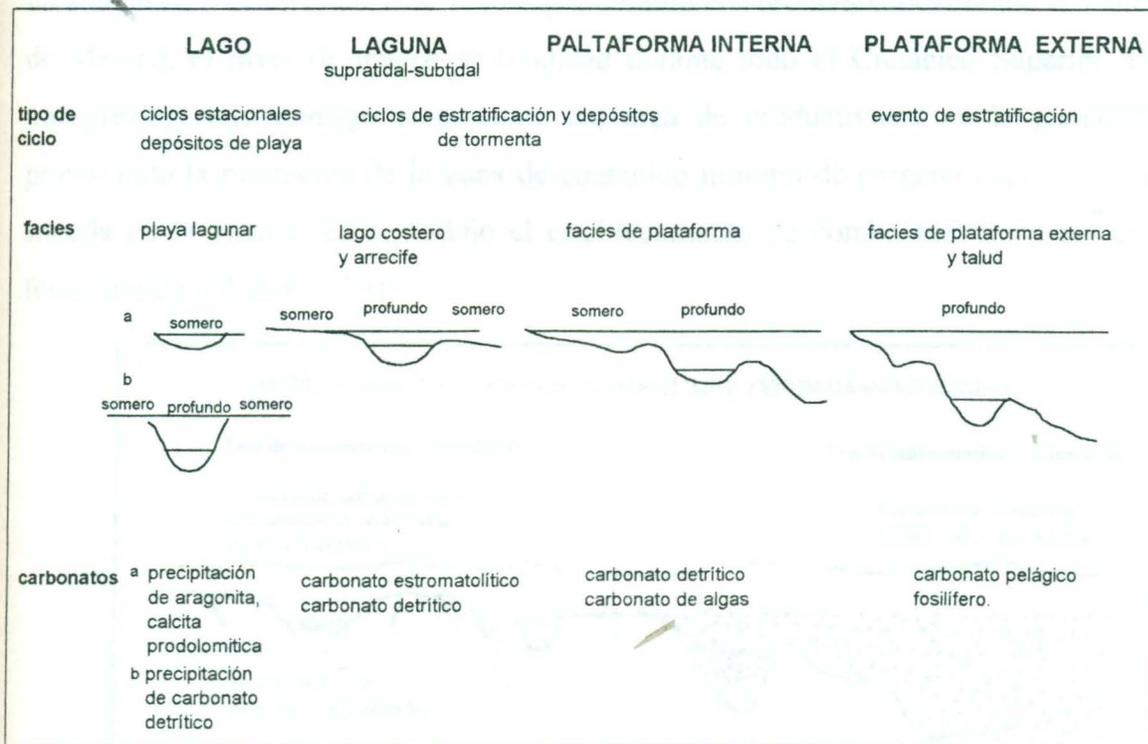


Figura 8.2. Modelo que muestra diferentes escenarios para la formación de "plattenkals" o calizas litográficas (Modificado de Hemleben y Swinburne, 1991)

Es posible que este elemento positivo sea producto de la actividad tectónica (movimientos orogénicos o fallas) llevada a cabo durante el Turoniano Superior.

Otro factor que promueve la baja concentración de oxígeno además de la circulación restringida del agua en un medio aislado, es el cambio en el nivel del mar. Cambios eustáticos suelen provocar la migración y el establecimiento en cuencas aisladas de una zona donde la concentración del oxígeno libre disuelto en el agua de mar es menor a 0.1ml/l (zona de contenido mínimo de oxígeno). El establecimiento de esta capa en la cuenca de Vallecillo, tiene probablemente relación con eventos transgresivos globales que tuvieron alcance en el noreste de México durante el Cretácico Superior, además de eventos de subsidencia y sedimentación (Vera-Torres, 1994, Sinton y Duncan, 1997) (Figura 8.3). De acuerdo a datos obtenidos de la Curva Exon (Figura 8.4) un aumento en el nivel del mar tuvo lugar durante el Turoniano, alcanzando el Noreste de México, el nivel de mayor profundidad durante todo el Cretácico Superior. Esta transgresión trajo consigo el aumento del área de productividad en la plataforma, provocando la migración de la zona de contenido mínimo de oxígeno hacia la cuenca situada en la misma. Esto produjo el establecimiento de condiciones anóxicas en el fondo marino (Wetzel, 1991).

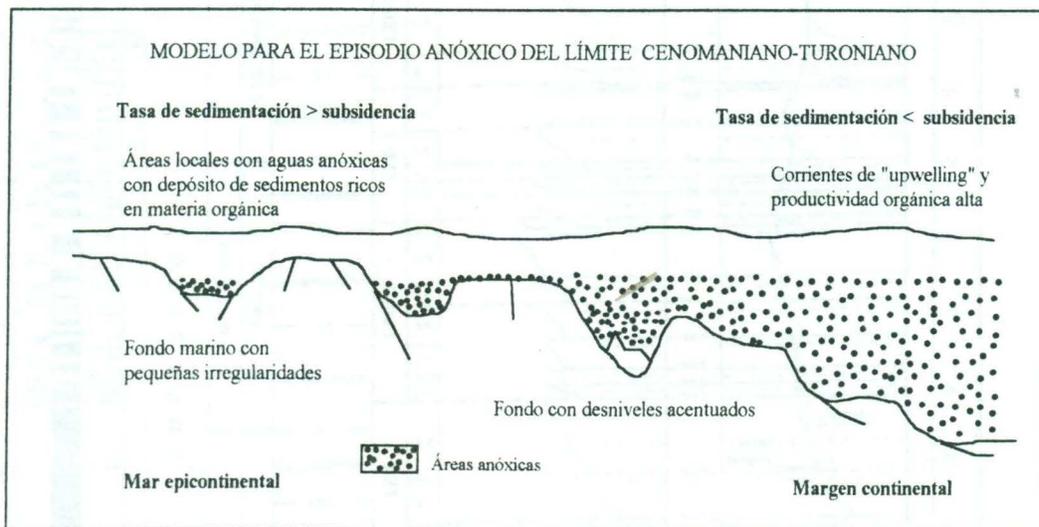


Figura 8.3.. Modelo de depósitos bajo eventos anóxicos durante Cenomaniaco-Turoniano.(Tomado de Vera-Torres, 1994)

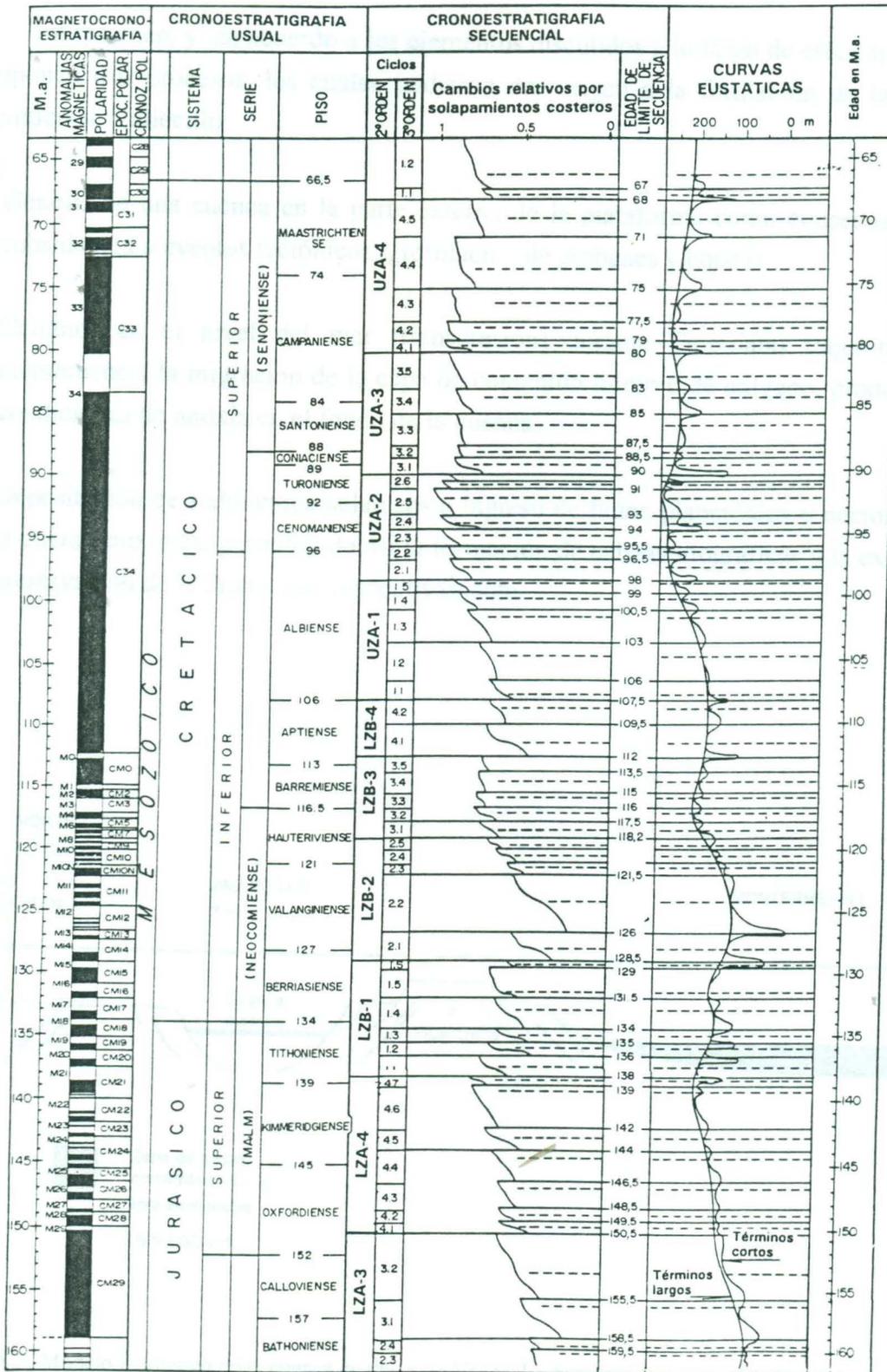


Figura 8.4. Curva Exxon para el intervalo de tiempo de 90 a 65Ma (Modificado de Vera-Torres, 1994)

En resumen, y de acuerdo a los elementos discutidos a lo largo de este capítulo, se proponen tres procesos, los cuales pudieron dar origen a la formación de la cuenca euxínica de Vallecillo:

1. Génesis de una cuenca en la parte externa de la plataforma como consecuencia de subsidencia o eventos tectónicos (¿formación de grabenes y horst?).
2. Cambios en el nivel del mar (transgresión) durante Turoniano trajeron como consecuencia la migración de la capa de contenido mínimo de oxígeno, produciendo condiciones de anoxia en el fondo de la cuenca.
3. Depositación de sedimentos pelágicos e ingreso de fauna planctónica y nectónica en la cuenca euxínica, permitiendo así la formación de calizas litográficas y la excelente preservación de la fauna fósil respectivamente.

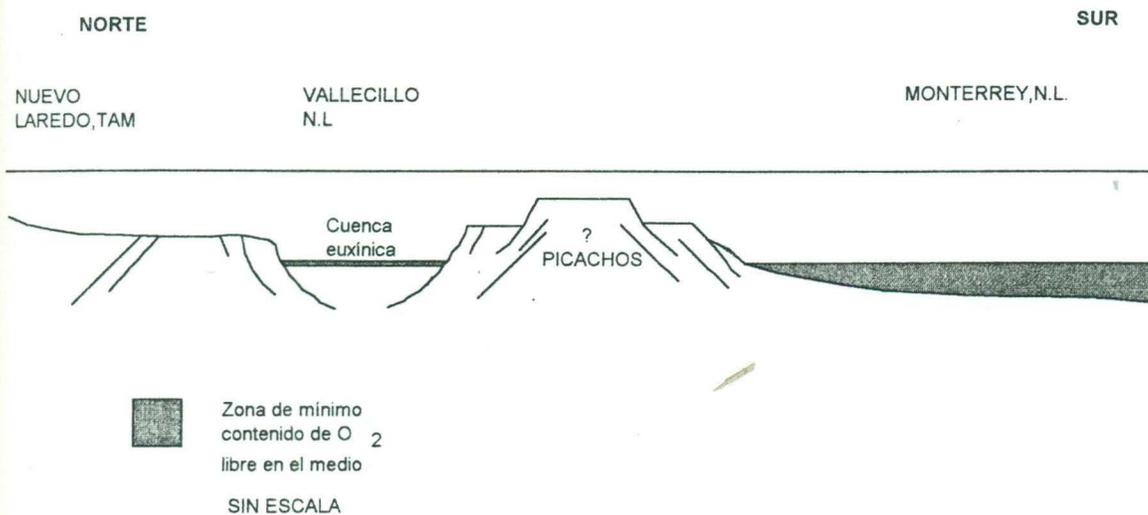


Figura 8.5. Modelo hipotético de la cuenca euxínica de Vallecillo, Nuevo León (sin escala).

CONCLUSIONES

IX

CONCLUSIONES

En el estudio de Valtuille se han observado...

Entre los grupos estudiados en el valle de Valtuille...

El estudio de la zona de Turoniano inferior-Turoniano Superior...

En cuanto al origen de las corrientes marginales de Valtuille...

CONCLUSIONES

En el municipio de Vallecillo, N.L. afloran como miembro litológico de la Formación Agua Nueva, una alternancia de calizas litográficas de espesor decimétrico, composición micrítica (mudstone calcáreo) y con laminación fina paralela y lutitas centimétricas con abundantes nódulos de goethita. Este miembro litológico, a diferencia de los sedimentos típicos de la Formación Agua Nueva, presenta en las calizas litográficas macrofauna fósil diversificada y relativamente abundante.

Entre los grupos reportados para las capas de Vallecillo, destacan reptiles marinos del orden Chelonia, peces condrósteos del orden Selachii, peces holósteos picnodontos y peces teleósteos de los órdenes Ichthyodectiformes, Aulapiformes y Beryciformes, además de 3 géneros de amonoideos (*Mammites*, *Collignonicerias* y *Spathites*) y pelecípodos inocerámidos. Por otro lado, diferentes grados de preservación son observados en estos ejemplares. Esta condición es el resultado de la combinación de diversos factores bióticos y abióticos tales como la diferencia en la composición química en cada grupo taxonómico, la anoxia y bajo pH en el medio de depósito, la descomposición parcial del material biológico previa al sepultamiento y a la diferencia en el grado de mineralización de las partes blandas y esqueletos.

Un rango de edad probable de Turoniano Inferior-Turoniano Superior fue asignada para las capas fosilíferas de la Formación Agua Nueva, de acuerdo con la presencia de cinco especies de foraminíferos planctónicos (*W. paradubia*, *W. archaeocretacea*, *W. brittonensis*, *H. globulosa* y *H. delrioensis*) y amonites.

En cuanto al origen de las calizas litográficas de Vallecillo se puede concluir que son el producto de ciclos de productividad y/o disolución de carbonato de calcio como respuesta a cambios climáticos globales; y que además, fueron depositadas en una cuenca anóxica de baja energía, situada en la parte externa de una plataforma o rampa carbonatada. Las condiciones de anoxia establecidas en la cuenca son el resultado del estancamiento de la columna de agua causada por barreras físicas que limitaban la cuenca y a eventos eustáticos que ocurrieron durante el Turoniano.

REFERENCIAS

- Adatte, T, W. Stinnesbeck, and G. Keller. 1996. Lithostratigraphic and mineralogical correlations of near K/T boundary clastic sediments in northeast Mexico: Implications for origin and nature of deposition (in): Ryder, G., Fastovsky, D., and Gartner, S. eds. The Cretaceous-Tertiary event and other catastrophes in Earth history: Geological Society of America Special Paper 307, p. 211-226.
- Adatte, T, W. Stinnesbeck, and J. Remane. 1994. The Jurassic-Cretaceous Boundary in Northeastern Mexico. Confrontation and Correlations by Microfacies, Clays Minerals Mineralogy, Calpionelids and Ammonites. GEOBIOS, M.S. no. 17: 37-56.
- Allen, J.R.L. 1990. Shells Transport-Hydrodynamics (in) in: Palaeobiology (A Synthesis). Derek E.G., Briggs & Peter R. Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. 227-229p.
- Allison, P.A. 1990. Decay Processes (in): Paleobiology (A Synthesis). Derek E.G., Briggs & Peter R. Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. 213-216p.
- Allison, P.A., J. Lucas, L. Révôt and M.E. Tucker. 1990. Diagenesis (in): Palaeobiology (A Synthesis). Derek E.G., Briggs & Peter R. Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. 247-257p.
- Applegate, S.P. 1987. A preliminary study of Tlayúa quarry near Tepexi de Rodríguez, Puebla. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*. Vol. 1 p 40-45.
- Applegate, S.P. 1988. A new genus and species of a holostean belonging to the family Ophiopsidae, *Teoichthys kallistos*, from the Cretaceous, near Tepexi de Rodríguez, Puebla. UNAM. Instituto de Geología. *Revista*. Vol. 7. No. 2. p200-205.
- Applegate, S.P. 1992. A new genus and species of pycnodont from the Cretaceous (Albian) of Central Mexico, Tepexi de Rodríguez, Puebla. UNAM. Instituto de Geología. *Revista*. Vol. 10. No. 2. p164-178.
- Applegate S.P. y K. González, Rodríguez. 1990. Tlayúa: Banco de Fósiles-ICYT, Vol. 12, 171p.
- Arkell, W.J., Kummel, B, and C.W. Wright. 1978. Mesozoic Ammonoidea (in): *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part L. Mollusca 4*. Geological Society of America and University of Kansas Press. 80-490pp.

- Baird, G.C. 1990. Mazon Creek-Taphonomy of Fossil-Lagerstätten.(in): *Paleobiology (A Synthesis)*. Derek E.G., Briggs & Peter R.Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications.p.279-282.
- Barnes, R.A. 1990. *Zoología de los Invertebrados*. 5ª edición. Editorial Interamericana. México, D.F: 957pp.
- Barron, B.S. 1989. Severe storms during Earth History. *Geological Society of America Bulletin*. Vol.101.No.5.p
- Behrensmaier, A.K. 1990. Transport-Hydrodynamics in: *Palaeobiology (A Synthesis)*. Derek E.G., Briggs & Peter R.Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications.p. 277-279
- Bergström, J.1990. Hunsrück Slate. Taphonomy of Fossil-Lagerstätten.(in): *Palaeobiology (A Synthesis)*. Derek E.G., Briggs & Peter R.Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. p.277-279.
- Bishop, B.A. 1970. Stratigraphy of Sierra de Picachos and Vecinity, Nuevo León. México. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*. Vol. 54. No.7 p.1245-1270.
- Brett, C.E. 1990. Ostracite deposits. (in): *Palaeobiology (A Synthesis)*. Derek E.G., Briggs & Peter R.Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. 239-243p.
- Brett, C.E. & S.E. Speyer. 1990. Taphofacies (in): *Palaeobiology (A Synthesis)*. Derek E.G., Briggs & Peter R.Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications.p.279-282.
- Brett, C.E. & A. Seilacher. 1991. Fossil-Lagerstätten: a Taphonomic Consequence of Event Sedimentation (in): *Cycles and Events in Stratigraphy*. Einsele, G., W. Ricken, A. Seilacher (Eds.). Springer-verlag. Berlin-Heidelberg. p.283-297.
- Briggs, D.E.G. 1990. Flattening. Taphonomy of Fossil-Lagerstätten.(in): *Palaeobiology (A Synthesis)*. Derek E.G., Briggs & Peter R.Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications.p.244-247
- Briggs, D.E.G. & J. C. Gall. 1990. the continuum in soft bodied biotas from transitional environments: a quantitative comparison of Triassic and Carboniferous Konservat-Lagerstätten. *Paleobiology* Vol. 16. No. 2. p. 204-217.
- Bromley, R.G. 1996. *Trace Fossils*. 2nd.Edition. Chapman and Hall .p.361.
- Boer, P.L. de, 1991. Pelagic Black Shale-Carbonate Rhythms: Orbital Forcing and Oceanographic Response. (in): *Cycles and Events in Stratigraphy*. Einsele et al (Eds). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg:63-78pp

- Caron, M. 1985. Cretaceous planktic foraminifera (in): *Plankton Stratigraphy*. H.M. Bolli, J.B. Saunders and K. Perch-Nielsen (Eds.). Cambridge University Press. p.17-86
- Carroll, R.L. 1988. *Vertebrate paleontology and evolution*. W.H. Freeman Company. New York:430pp.
- Carrasco, U.R.1977. Albian sedimentation of submarine autochthonous and allochthonous carbonates, east edge of the Valles-San Luis Potosí platform. Mexico. *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ.* 25, p. 263-272.
- Cox, L.R. N.D. Newedell, D.W. Boyd, C.C. Brauson, R. Casey, A. Chavan, A.H. Coogan, C. Dechaseaux, C.A. Fleming, F. Haas, L.G. Hertlein, E.G. Kauffman, A.M. Keen, A. LaRocque, A.L. McAlester, R.C. Moore, C.P. Nottal, B.F. Perkins, H.S. Puri, L.A. Smith, T. S. Ryen, H.B. Stenzel, E.R. Truman, R.D. Turner and J. Weir. 1969. *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N. Mollusca* 6. The Geological Society of America Inc. And The University of Kansas. 489.
- Dávila, S. M.1991. Estudios Geológicos en Proyectos de acumulación de energía por bombeo de la región de Monterrey, Nuevo León. Subdirección Técnica, gerencia de Ingeniería Civil, CFE. p.23-36
- De Cserna, Z. 1956. Tectónica de la Sierra madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey. XX Congreso Geológico Internacional. 81p.
- De Cserna, Z. 1979. Cuadro tectónico de la sedimentación y magmatismo en algunas regiones de México durante el Mesozoico. Programas y resúmenes del V Simposium sobre la evolución tectónica de México. Instituto Mexicano de Geología. UNAM. 11-14pp.
- De Cserna, Z.1989. An outline of the geology of Mexico. *The Geology of North America* Vol.A. p.233-264.
- Dunham, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture (in): *Classification of carbonate rocks. A symposium Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. I*: 108-121pp.
- Eicher, D.L., and R. Diner, 1991. Environmental Factors Controlling Cretaceous Limestone-Marlstone Rhythms (in): *Cycles and Events in Stratigraphy*. Einsele et al (Eds). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg:79-93pp.
- Einsele, G., and W. Ricken. 1991. Limestone-Marl Alternation- an Overview (in): *Cycles and Events in Stratigraphy*. Einsele et al (Eds). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg:23-47pp.

- Enos, P. 1974. reefs, platforms and basins of middle Cretaceous in northeast Mexico. *Am. Assoc. Petroleum Geol. Bull.* v.58 p 800-809.
- Everhart, M and P. Everhart. 1988. A field guide to the marine fossils of the smoky hill Chalk Member of the Niobara Formation (Late Cretaceous) of Western Kansas. Inedit paper. Kansas: 32pp.
- Faure, G. 1991. Principles and Applications of Inorganic Geochemistry. Prentice Hall. New Jersey: 626pp.
- Fisher, A.G. 1991. Orbital Cyclicity in Mesozoic Strata, (in): Cycles and Events in Stratigraphy. Einsele et al (Eds). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg:48-62pp.
- Folk, R.L. 1962. Spectral subdivision of limestones types (in): Classification of carbonate rocks. A symposium Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.I. 62-84.
- Franzen, J.L. 1990. Grube Mesel. Taphonomy of Fossil-Lagerstätten. (in): Palaeobiology (A Synthesis). Derek E.G., Briggs & Peter R. Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. 289-294p.
- Fürsich, F.T. 1990. Fossil Concentrations and life and death assemblages. (in): Palaeobiology (A Synthesis). Derek E.G., Briggs & Peter R. Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. p.235-239.
- Gamper, 1977. Estratigrafía y Microfacies Cretácicas del Anticlinorio Huizachal-Peregrina (Sierra Madre Oriental). *Bol. Soc. Geol. Mexicana*. Tomo XXXVIII. No. 2. p. 1-17.
- Garza-Gutierrez, H. 1991. Geologische Kartierung der Difunta-Gruppe (Oberkreide bis Paläozän) im Nordlichen teil des Parras-Beckens Coahuila, Nordost-Mexico.
- Goldhammer, R.K., P.J. Lehman, R.G. Todd, J.C. Wilson, W.C. Ward and C.R. Johnson. 1995. Estratigrafía Secuencial y Cicloestratigrafía del Mesozoico de la Sierra Madre Oriental, Noreste de Mexico. Exxon Production Research Co. 101p.
- Hancock, P.L. 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. *Journal of Structural Geology*. Vol 7: 437-458pp.
- Hemleben C. and N.H.M. Swinburne. 1991. Cyclical Deposition of the Platenkalk Facies (in): Cycles and Events in Stratigraphy. Einsele et al (Eds). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg: 572-591.
- INEGI. Carta geológica de Sabinas Hidalgo, N.L. México. (G14A66).
- INEGI. Carta topográfica de Sabinas Hidalgo, N.L. México. (G14A66).
- INEGI. Carta geológica de Vallecillo, N.L. México. (G14A67).
- INEGI. Carta topográfica de Vallecillo, N.L. México. (G14A67).

- INEGI. 1986. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. INEGI. México, D.F. 170p
- Kane, W.C. 1936. Structural Geology of Border Province of Northeastern Mexico adjacent to Zapata and Starr Counties, Texas. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists. Vol. 20. No. 4. p.403-416.
- Krauskopf, K.B and D.K. Bird, 1995. Introduction to Geochemistry. 3th. Edition.. McGraw-Hill, Inc. New York: 645pp.
- Loeblich Jr, A.R., and H. Tappan. 1964. Sarcodina Chiefly "Thecomobians" and Foraminiferida (in): Treatise on Invertebrate Paleontology. Part C Protista 2. Vol 1. The Geological Society of America and The University of Kansas Press. 2-15pp.
- Longoria-Treviño, J.F. 1977. Mid Cretaceous (Aptian-Turonian) Planktonic foraminiferal biostratigraphy of Northeastern Mexico. Annales du Muséum d'histoire naturelle de Nice. Tome IV.
- Longoria, J.F. 1979. Estratigrafía y Microfacies del Cerro de la Silla, SE de Monterrey. Bol. Dpto. Geol. Uni-Son. Vol 2. No. 1: 65-95pp.
- Lopez-Oliva, J.G. 1996. Stratigraphy of the Cretaceous/Tertiary (K/T) boundary Transition in Northeastern and East-Central Mexico. (Doctoral Thesis) Princeton University: p246
- López-Ramos, E. 1982. geología de México. 2a. edición. Tomo II. UNAM. México, D.F. 454p.
- McFarland Jr. E and L.S.Menes. Lower Cretaceous (in): The Gulf of Mexico Basin. The Geology of North America, Volume J: 181-204pp.
- Magallón -Puebla, S. and S.R.S. Cevallos-Ferriz. 1993. A fossil earthstar (Gasteraceae, Gasteromycetes) from the Late Cenozoic of Puebla. American Journal of Botany. 80(10): 162-167.
- Magallón -Puebla, S. and S.R.S. Cevallos-Ferriz. 1994. Fossil lagune fruits from Tertiary strata of Puebla, México. Con. J. Bot. 72:1027-1038.
- Meiburg, P. 1987. Paleogeografía y desarrollo estructural del Cretácico de la Sierra Madre Oriental septentrional, México. Actas de la fac. Ciencias de la Tierra. UANL. Linares, 2: 191-199pp.
- Morán-Zenteno, D. 1994. Geology of Mexican Republic. AAPG.No.39.160p
- Morris, S.C. 1990. Burgue Shale. Taphonomy of Fossil-Lagerstätten.(in): Palaeobiology (A Synthesis). Derek E.G., Briggs & Peter R.Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. 270-274p.

- Muir, J.M. (1936). Geology of the Tampico Region Mexico. The American Association of Petroleum Geologists. p280.
- Müller, A.H. 1985. Lehrbuch der Paläozoologie. Band III. Vertebraten. Teil 1. VEB Gustav Fischer Verlag: 655pp.
- Nederbragt, A. 1990. Late Cretaceous Biostratigraphy and Development of Heterohelicidae (Planktic Foraminifera) in: Biostratigraphy and Paleooceanographic Potential of the Cretaceous Planktic Foraminifera Heterohelicidae. Vrije Universiteit te Amsterdam:61-125pp
- Oschman, W. 1991. Anaerobic-Poikiloaerobic-Aerobic: a New Facies Zonation for Modern and Ancient Neritic Redox Facies. (in): Cycles and Events in Stratigraphy. Einsele et al (Eds). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg:565-571.
- Padilla y Sánchez, R.J. 1978. Geología y Estratigrafía (Cretácico Superior) del límite suroeste del estado de Nuevo León. Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geología. revista. Vol. 2. Núm. 1. p.37-44.
- Padilla y Sánchez, R.J. 1982. Geologic Evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo y Monterrey, México. Thesis. The University of Texas at Austin, 232p
- Pantoja-Alor, J. 1992. Geología y Paleoambiente de la cantera de Tlayúa, Tepexi de Rodríguez, estado de Puebla. UNAM. Inst. Geología. Revista. Vol.9. No.2. 156-169 pp.
- Pessagno Jr. E.A. 1967. Upper Cretaceous stratigraphy of the Western Gulf Coast area of Mexico, Texas and Arkansas. Geol. Soc. Amer. Mem. III: 1-139, 60p.
- Price, N.J y J.W. Cosgrove. 1990. Analysis of geological structures. Cambridge University Press, New York: 502pp.
- Robaszynsky et M.Caron. 1979. Atlas de Foraminifères planctoniques du Crétacé Moyen (in): Cahiers de Micropaléontologie. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris: 185pp
- SEP. 1988. Los Municipios de Nuevo León. Enciclopedia de los Municipios de México. Monterrey. 395p.
- Sageman, B.B, P.B. Wignall, and E.G. Kauffman, 1991. Biofacies Models for Oxygen-Deficient Facies in Epicontinental Seas: Tool for Paleoenvironmental Analysis (in): Cycles and Events in Stratigraphy. Einsele et al (Eds). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg:542-564.

- Santiago, J., J. Carrillo y B. Martell, 1984. Geología Petrolera de México (in): Schlumberger. Evaluación de Formaciones en México. Cap 1. 1-36pp.
- Savrda, C.E., D.J. Bottjer, and A. Seilacher. 1991. Redox-Related Benthic Events. (in): Cycles and Events in Stratigraphy. Einsele et al (Eds). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg:524-541
- Schoenherr, P. 1988. Litho- und Mikrobiostratigraphie der Mittel-und Oberkreide Nordmexicos (Alb bis Campan). Universität Hannover. p.176
- Scott, R.W. 1984. Mesozoic biota and depositional systems of the Gulf of Mexico-caribbean region (in): Jurassic-Cretaceous Biocronology and paleogeography of North America. Geological Association of Canada. Special Paper (27). p.49-64
- Seibertz, E. 1988. El desarrollo cretácico del Archipiélago de Tamaulipas: 1) Litogénesis, paleogeografía y datación bioestratigráfica de la Formación San Felipe por medio de Inocerámidos en el estado de Nuevo León (Turoniano, EN de México). Act. Fac. Cienc. Tierra. UANL. Linares, :13-29pp.
- Seibertz, E. & C. Spaeth. 1995. Die kreide-Belemniten von Mexico II. Belemniten es Turon Nord-Mexikos. Berliner geoviss. Abh. E 16. Gundolf-Ernst-festschrift. p.45-51.
- Seilacher, A. 1990. Taphonomy of Fossil-Lagerstätten (an overview) in: Palaeobiology (A Synthesis). Derek E.G., Briggs & Peter R.Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. 2266-270p.
- Sinton, C.W. and R.A. Duncan. 1997. Potential Links between Ocean Plateau Vulcanism and Global Ocean Anoxia at the Cenomanian-Turonian Boundary. Economic Geology. Vol. 92. No. 7/8: 836-842pp.
- Sohl, N.F., E. Martínez, P. Salmerón-Urena, and F. Soto-Jaramillo, 1991. Upper Cretaceous (in): The Gulf of Mexico Basin. The Geology of North America, Volume J. 205-244p
- Stinnesbeck, W. 1992. Amonites de la Formación Cuesta del Cura (Albiano Superior-Cenomaniano Inferior) en el área de Galeana, Nuevo León. Rev. Soc. Mex. de Paleont. 4 (1): 63-85pp.
- Vega-Vera, F.J. 1987. Importancia geológico-estratigráfica de la transición Cretácico superior-Terciario en la Cuenca de la Popa (Grupo Difunta), Nuevo León.(in): El Cretácico de México y América Central. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra. 101-106p

- Vera-Torres, A..1994. Estratigrafia.(Principios y Métodos) Editorial Rueda. Madrid: 806p.
- Viohl, G. Sollnhofen Lithographic Limestone. Taphonomy of Fossil-Lagerstätten.(in): alaeobiology (A Synthesis). Derek E.G., Briggs & Peter R.Crowther (Eds). lackwell Scientific Publications. 285-289pp.
- Weidie, A.E. and W.C. Ward. 1987. Laramide tectonics and Upper Cretaceous-Lower Tertiary center of deposition, NE Mexico. El Cretácico de México y América Central. Actas de la facultad de Ciencias dela Tierra. 195-196p.
- Wetzel, A. 1991. Startiphication in Black Shales: Depositional Models and Timing-an Overview. (in): Cycles and Events in Stratigraphy. Einsele et al (Eds). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg:508-523.
- Wild, R. 1990. Holzmaden. Taphonomy of Fossil-Lagerstätten.(in): Palaeobiology (A Synthesis). Derek E.G., Briggs & Peter R.Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. 282-285p.
- Wilson, J.L.1975. Carbonate Facies in Geology History. Springer Verlag. Berlin. 472p
- Wilson, J.L. 1987. Controls on carbonate plataform-basin systems in northeast Mexico (in): El Cretácico de México y América Central. Actas de la Facultad de Ciencias de La Tierra. 23-24p
- Wilson, J.L.1990. Basament structurals controls on Mexico carbonate facies in northeastern Mexico-a review. Special. Publs. int. Ass. Sediment. No. 9. pp235-255.

APÉNDICES

I DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X	107
Análisis de roca completa, 108	
Análisis de arcillas, 114	
II DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA DE LA FAUNA DE VALLECILLO	120

ANÁLISIS DE ROCA COMPLETA

A. CANTERA DE MUESTRAS 6-75

B. CANTERA DE MUESTRAS 2-75

C. CANTERA DE MUESTRAS 4-75

D. CANTERA DE MUESTRAS 5-75

E. CANTERA DE MUESTRAS **APENDICE I****DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X**

Abreviaturas

Cc. Calera

Qz. Cuarzo

Phy. Fielosilicatos

G. Gwethlis

ANÁLISIS DE ROCA COMPLETA

A. CANTERA III. MUESTRAS 6-10

B. CANTERA III. MUESTRAS 21-25

C. CANTERA II. MUESTRAS 6-10

D. CANTERA II. MUESTRAS 17-21

E. CANTERA I. MUESTRAS 1, 3-6.

Abreviaturas

CC. Calcita

Qz. Cuarzo

Phy. Filosilicatos

G. Goethita

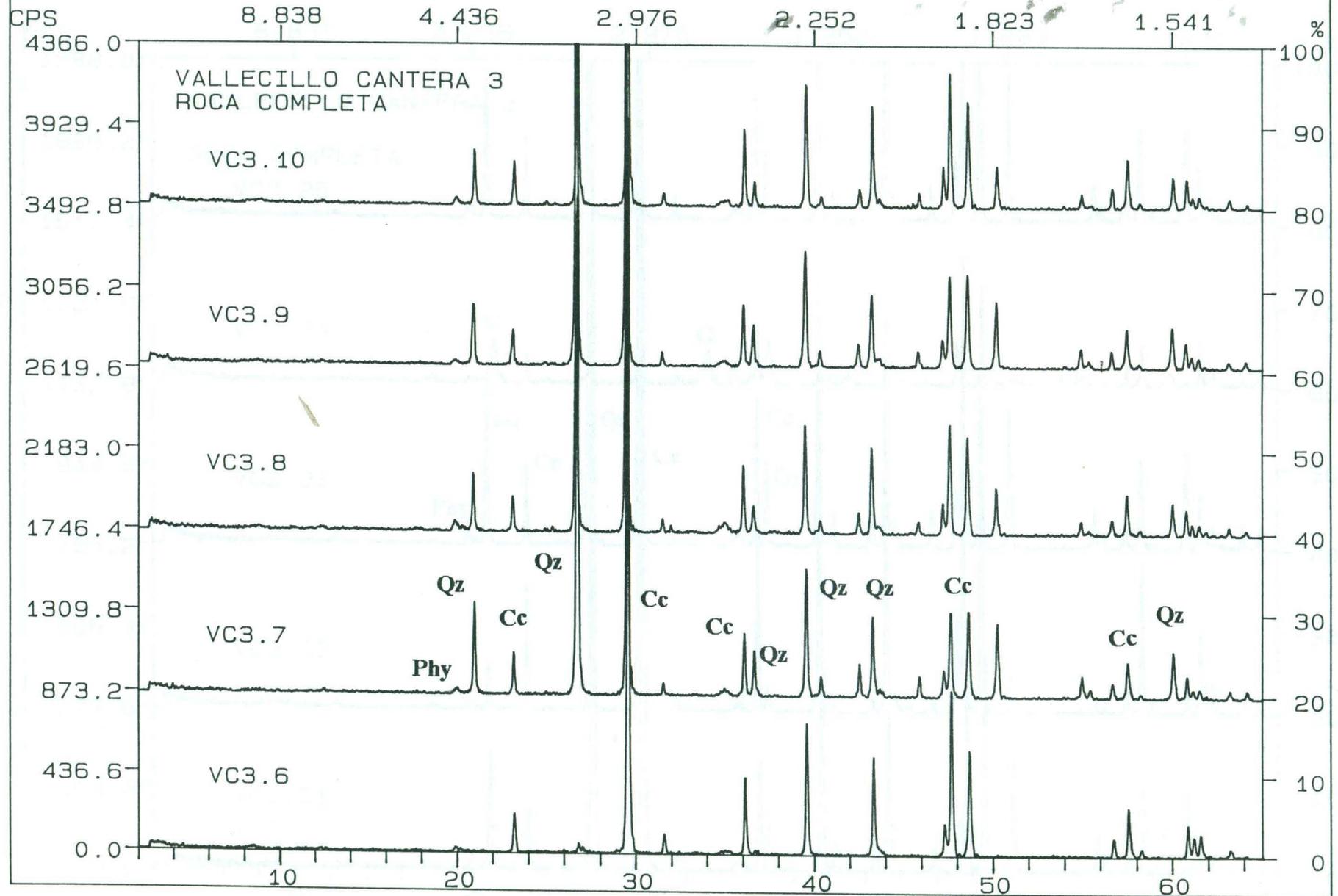
FN: VCD36RT.NI
DATE: 09/27/97

ID: VC3.6 RT
TIME: 03: 12

PT: 1.80000

STEP: 0.03000

SCINTAG/USA
WL: 1.54060



B

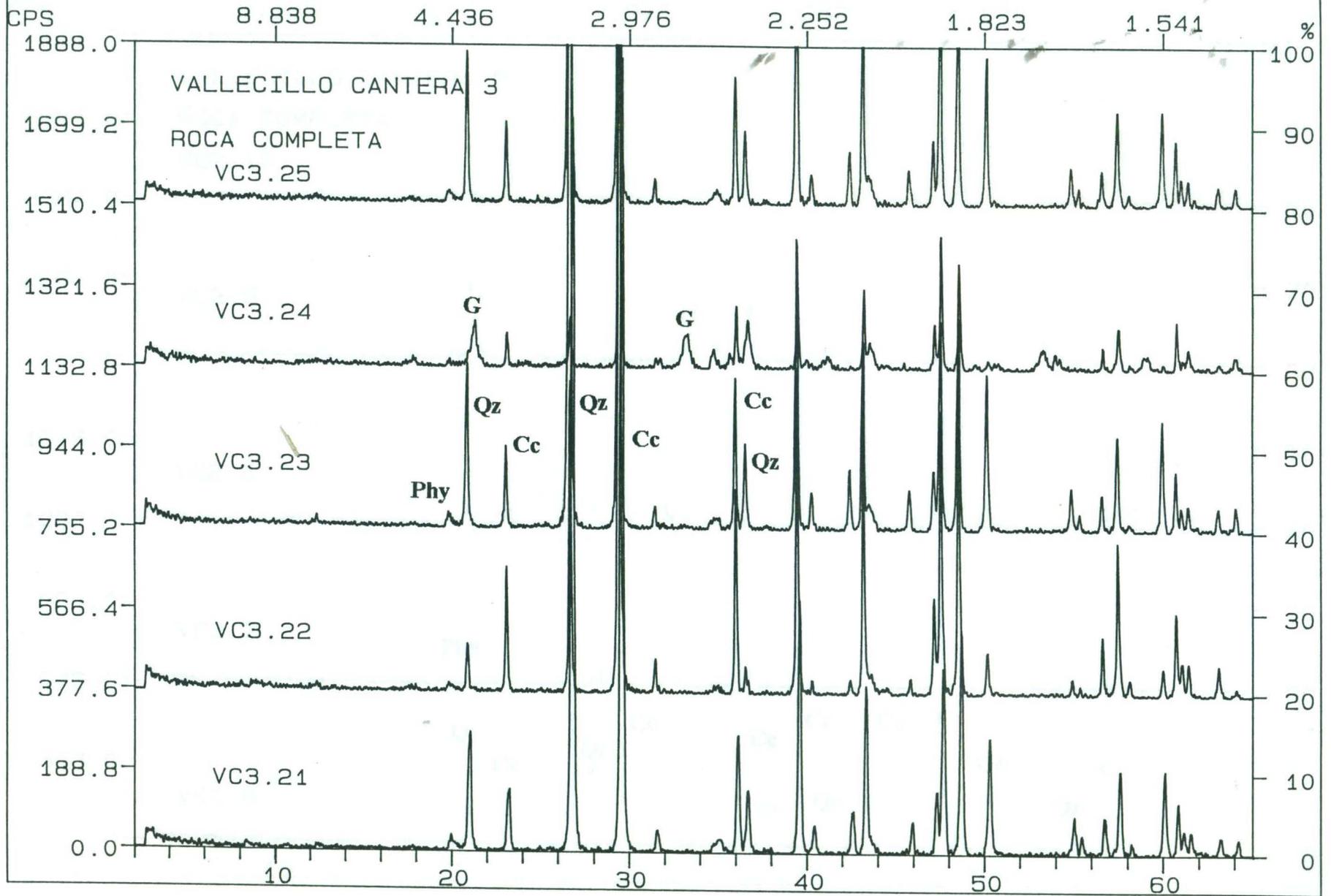
FN: VCD321RT.NI
DATE: 10/04/97

ID: VC 3.21 RT
TIME: 18:09

PT: 1.80000

STEP: 0.03000

SCINTAG/USA
WL: 1.54060



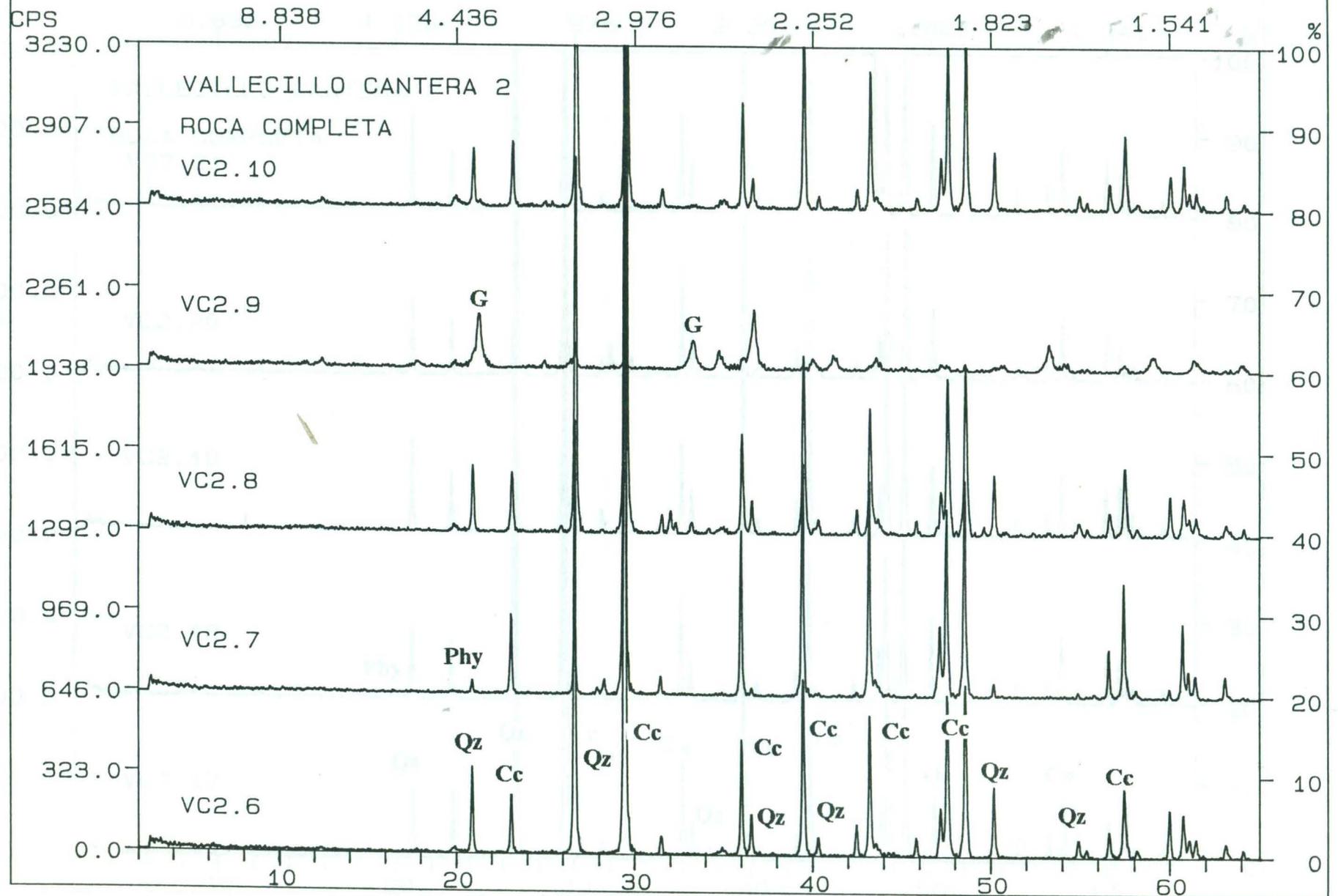
FN: VCD2FRT.NI
DATE: 09/14/97

ID: VCD2.6 RT
TIME: 01: 49

PT: 1.80000

STEP: 0.03000

SCINTAG/USA
WL: 1.54060



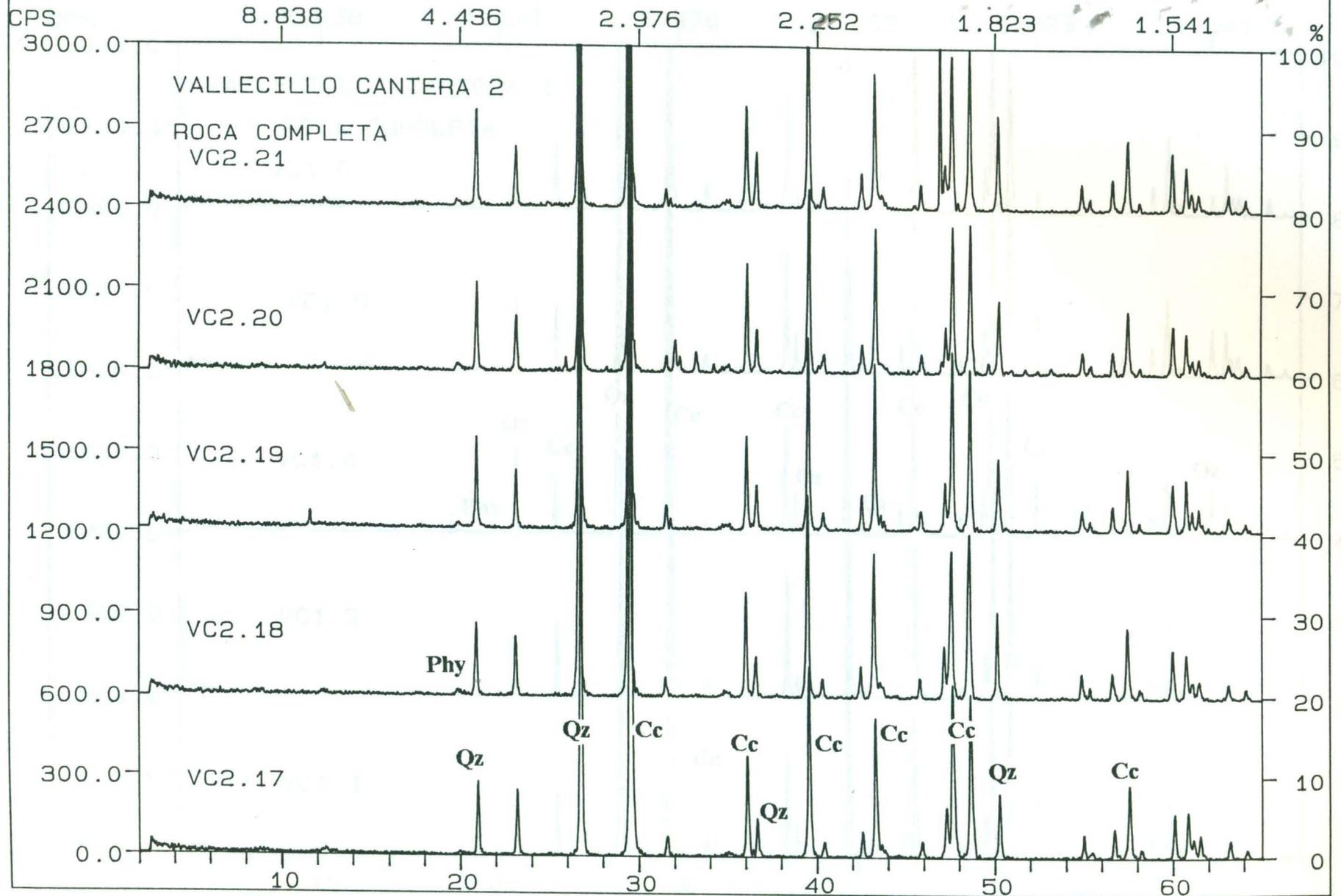
D

FN: VCD2RRT.NI
DATE: 09/15/97

ID: VC 2.17 RT
TIME: 00:55 PT: 1.80000

STEP: 0.03000

SCINTAG/USA
WL: 1.54060



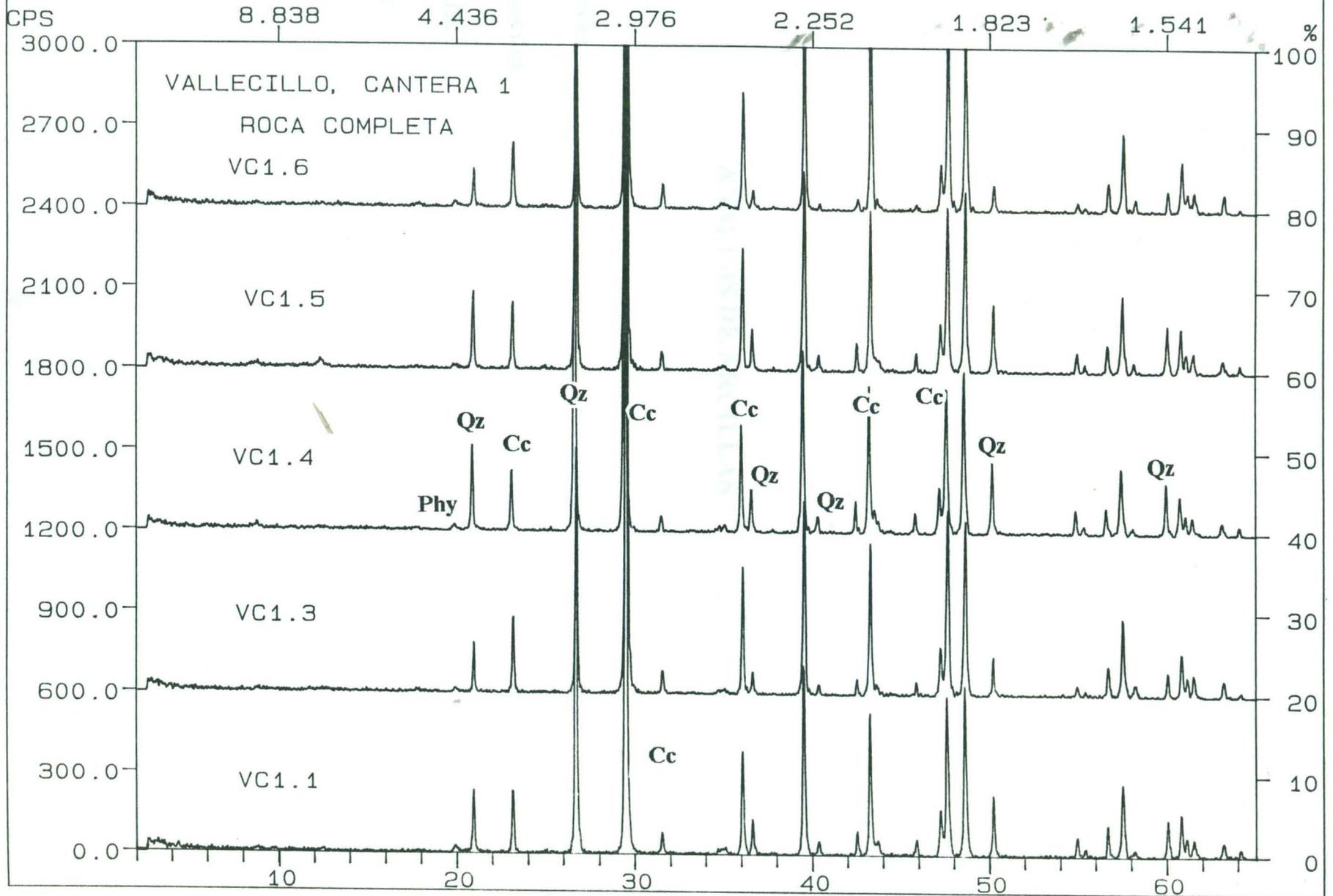
FN: VCD1ART.NI
DATE: 09/12/97

ID: VCD1.1 RT
TIME: 17:51

PT: 1.80000

STEP: 0.03000

SCINTAG/USA
WL: 1.54060



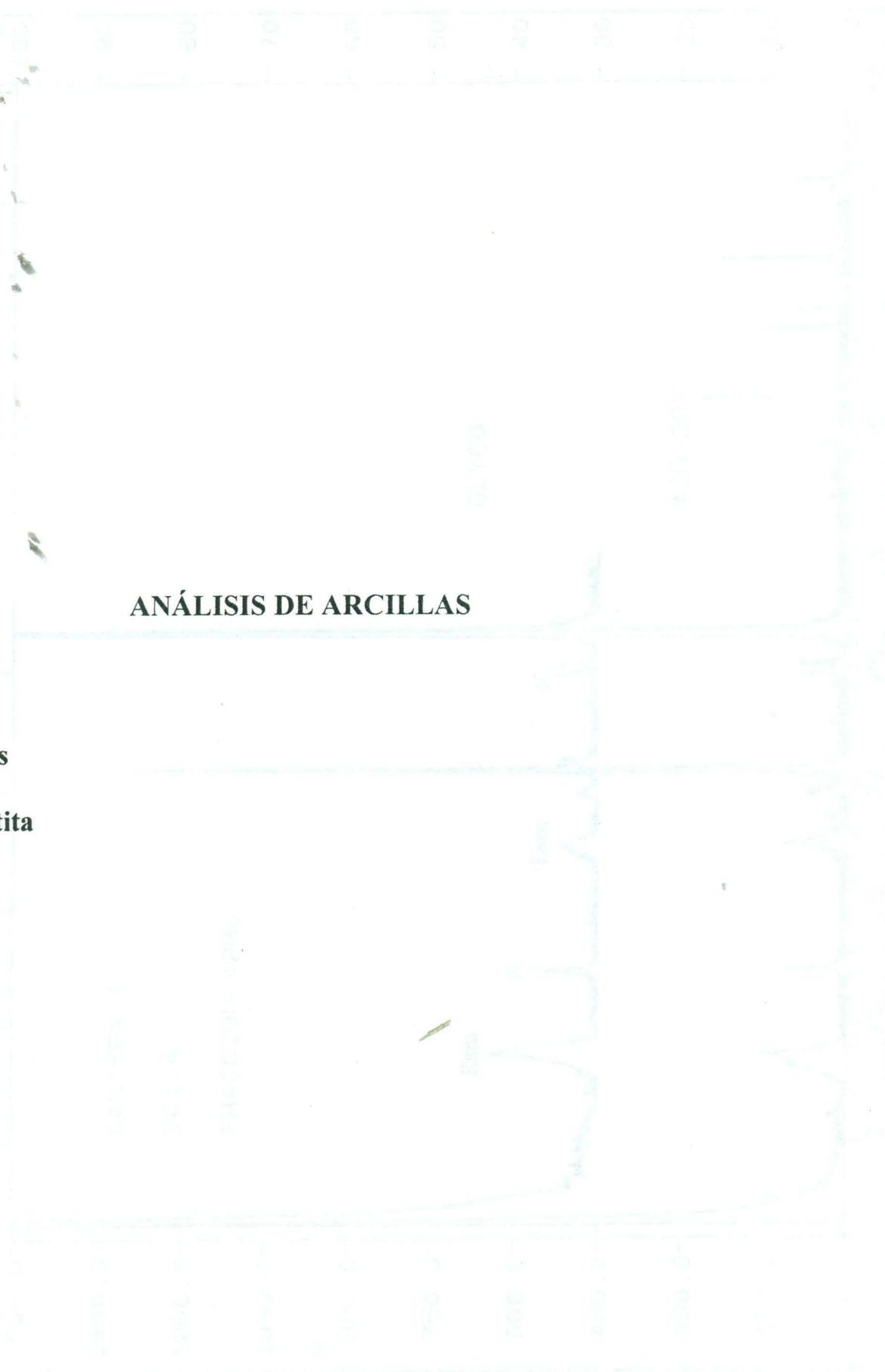
ANÁLISIS DE ARCILLAS

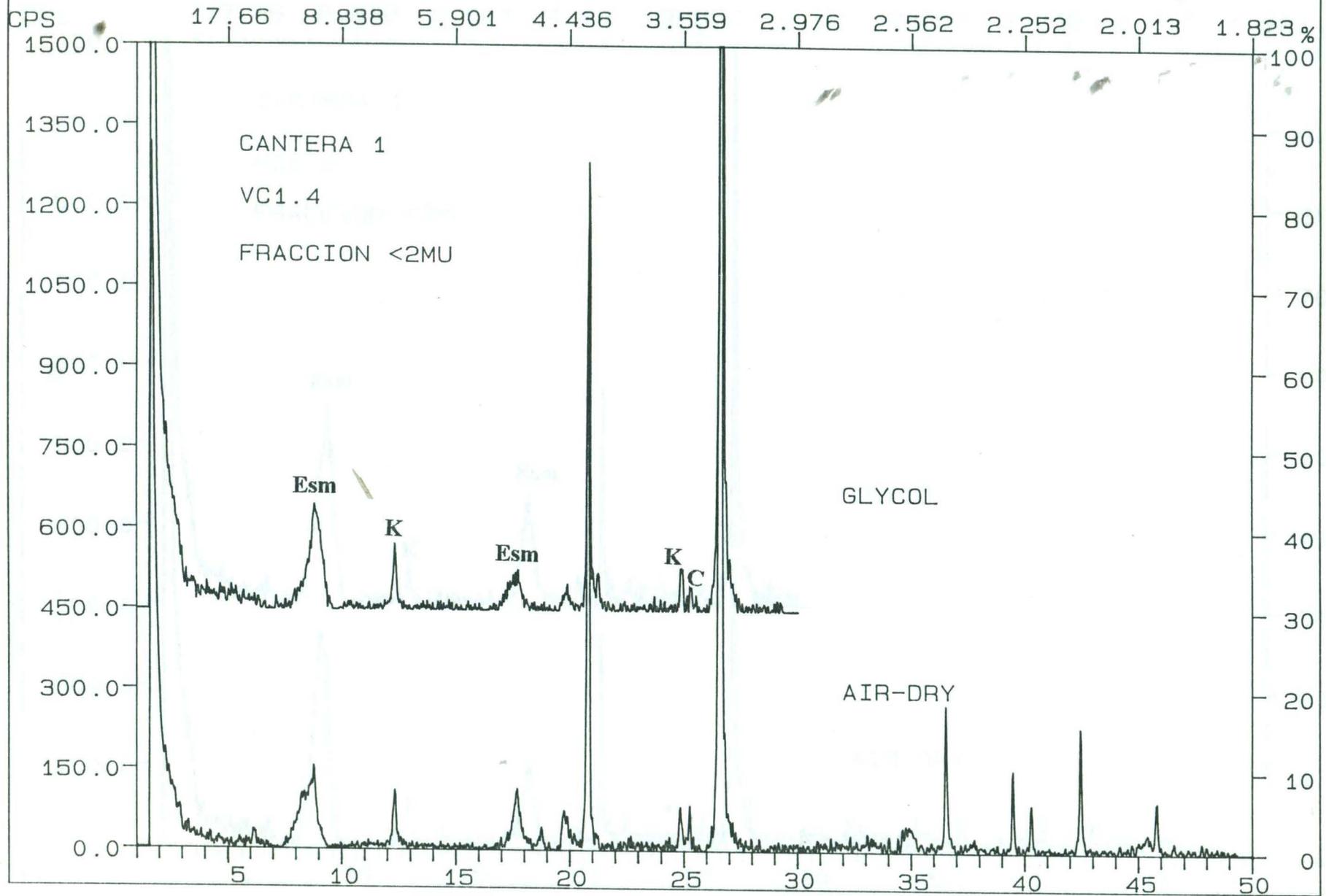
Abreviaturas

Esm. Esmectita

K. Caolinita

C. Clorita



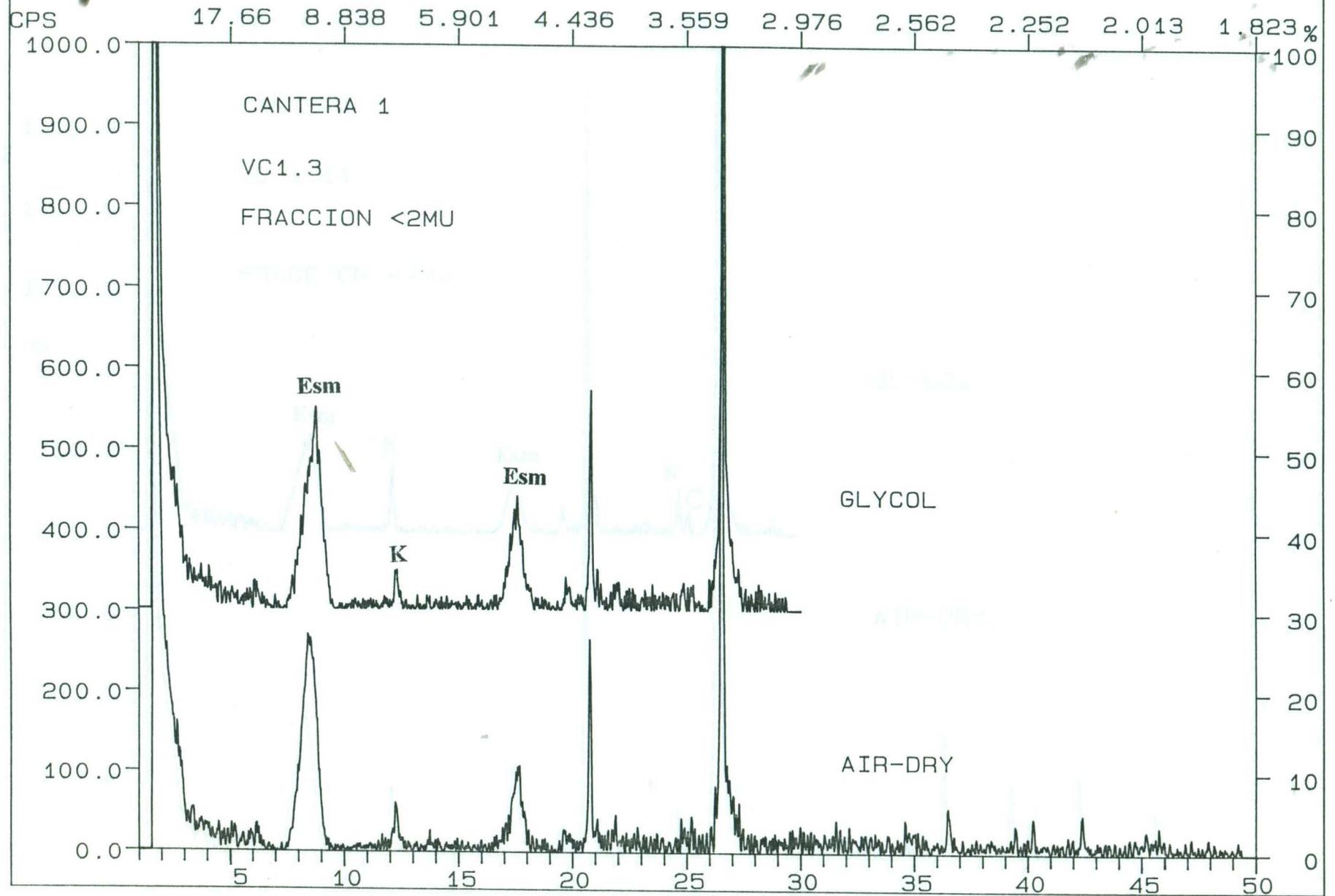


FN: VC1C2N.NI
DATE: 09/17/97

ID: VC1.3 <2MU AD
TIME: 16: 15 PT: 1.80000

STEP: 0.03000

SCINTAG/USA
WL: 1.54060

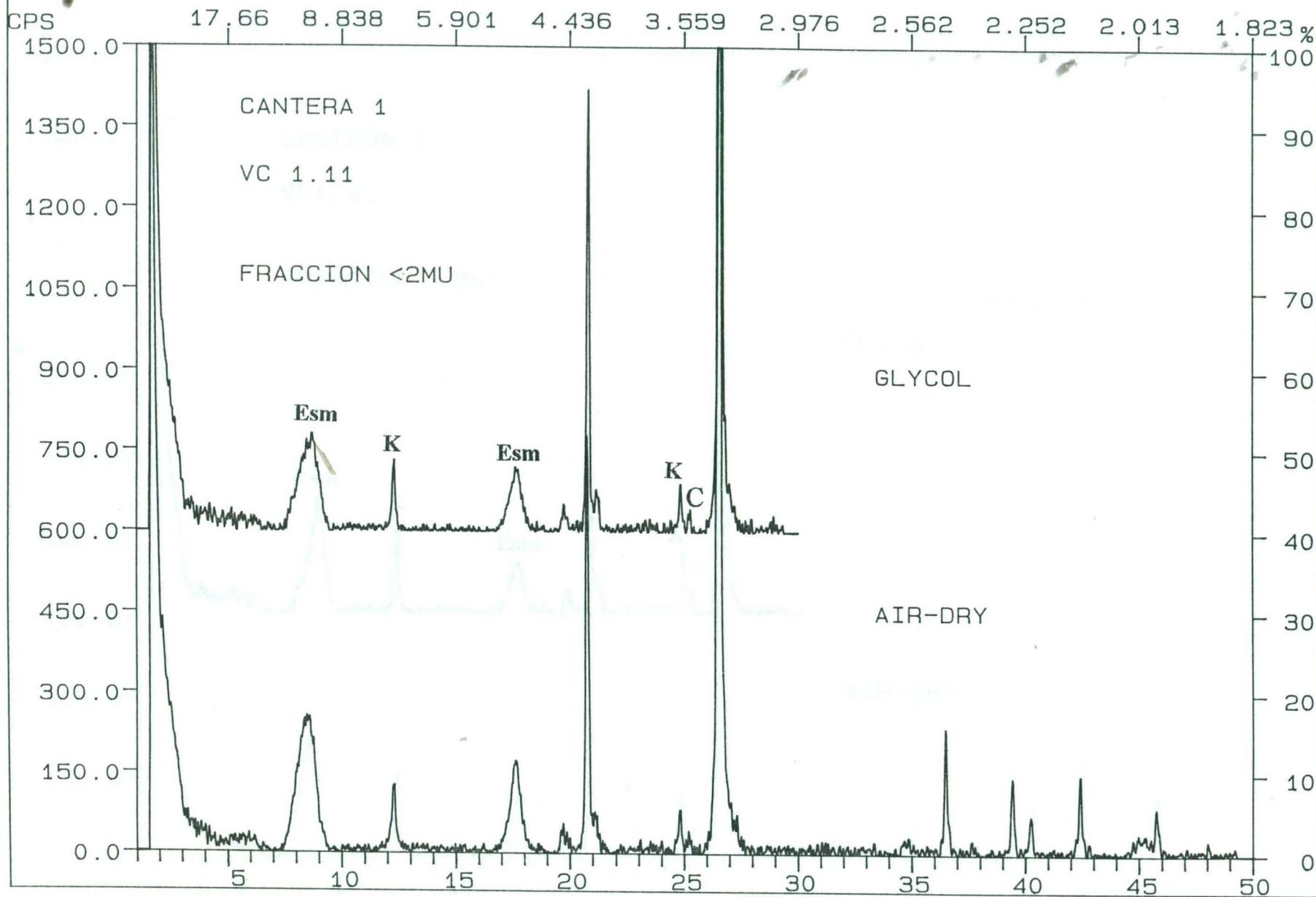


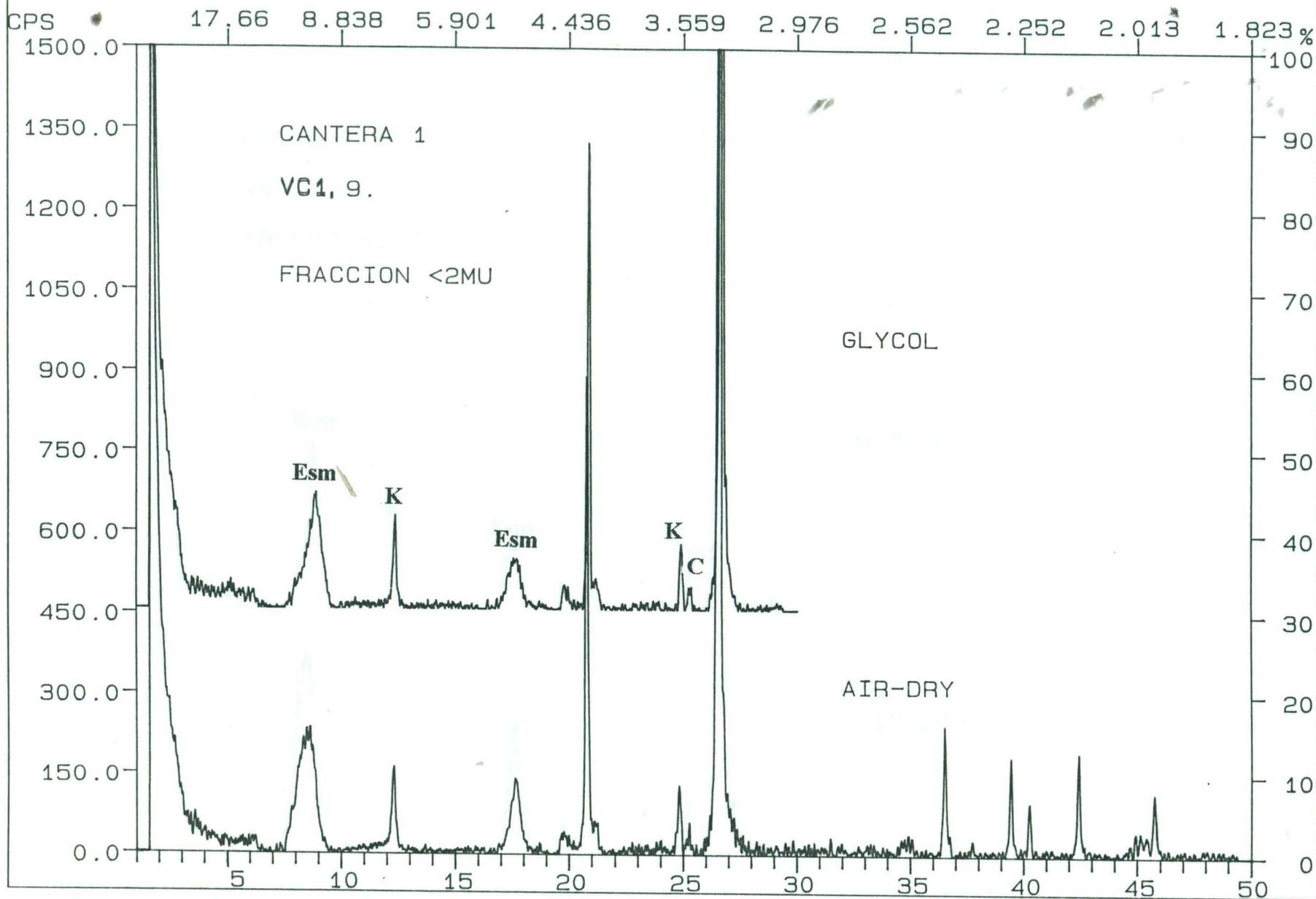
FN: VC1112N.NI
DATE: 10/02/97

ID: VC 1.11 <2MU AD
TIME: 23: 16
PT: 1.80000

STEP: 0.03000

SCINTAG/USA
WL: 1.54060



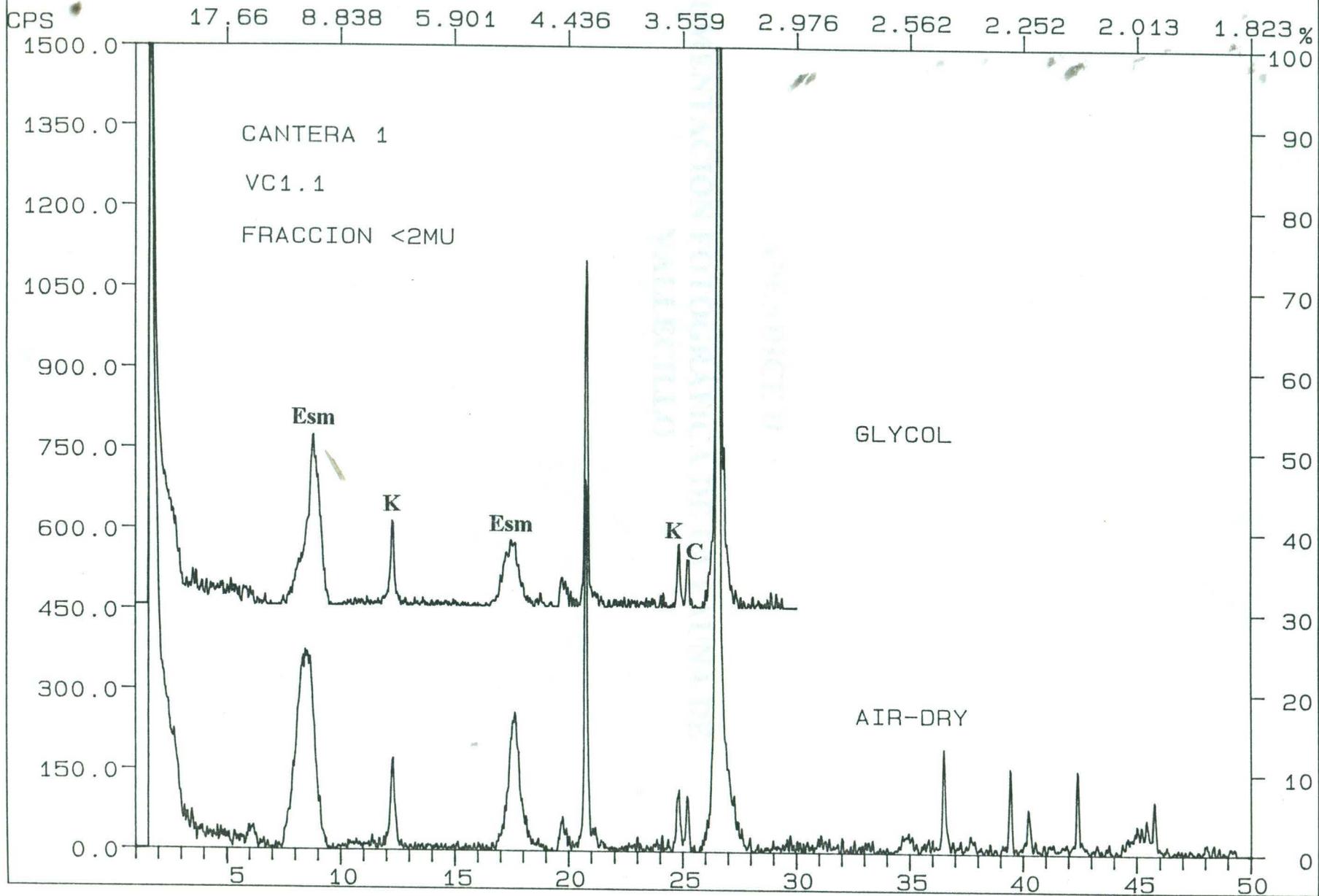


FN: VC1A2N.NI
DATE: 09/17/97

ID: VC 1.1 <2MU AD
TIME: 14: 18 PT: 1.80000

STEP: 0.03000

SCINTAG/USA
WL: 1.54060





APÉNDICE II

DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA DE LA FAUNA DE VALLECILLO

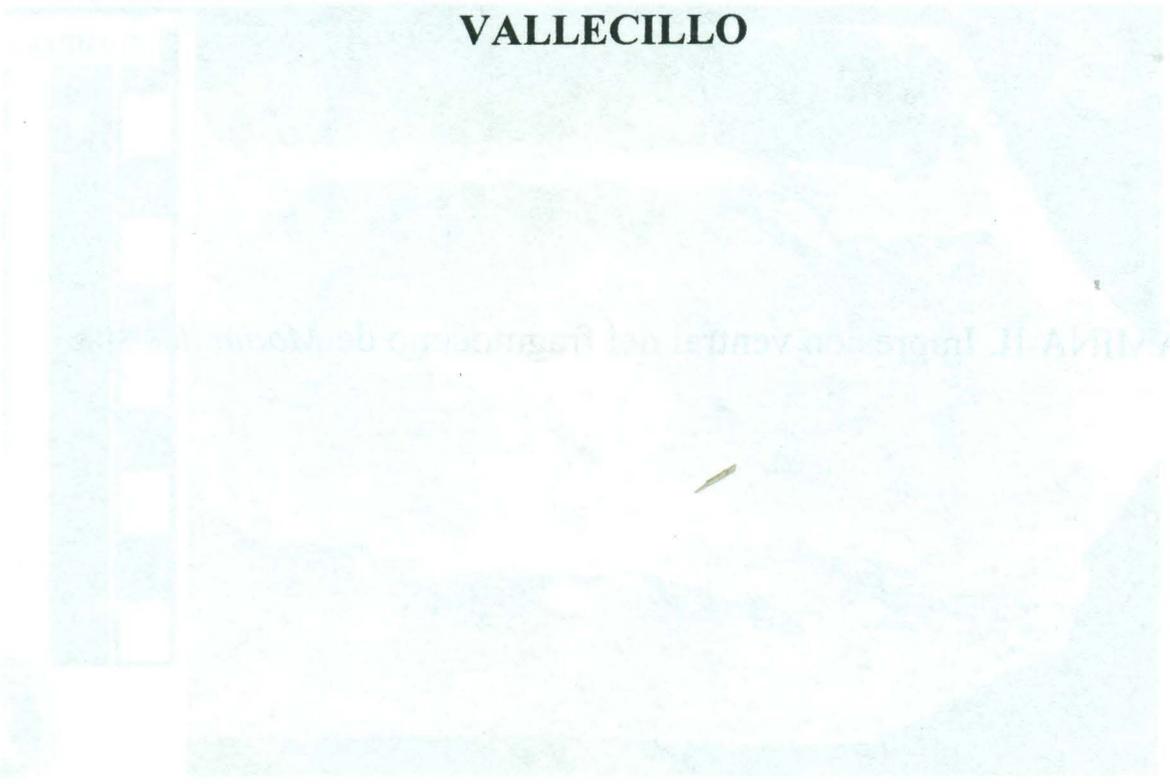


LÁMINA I. Impresión lateral del fragmocono de *Mammites* sp.

APÉNDICE II

DOCUMENTACIÓN FOTOGRAFICA DE LA FAUNA DE
VALLE DEL

LÁMINA II. Impresión ventral del fragmocono de *Mammites* sp.

LÁMINA I



LÁMINA II

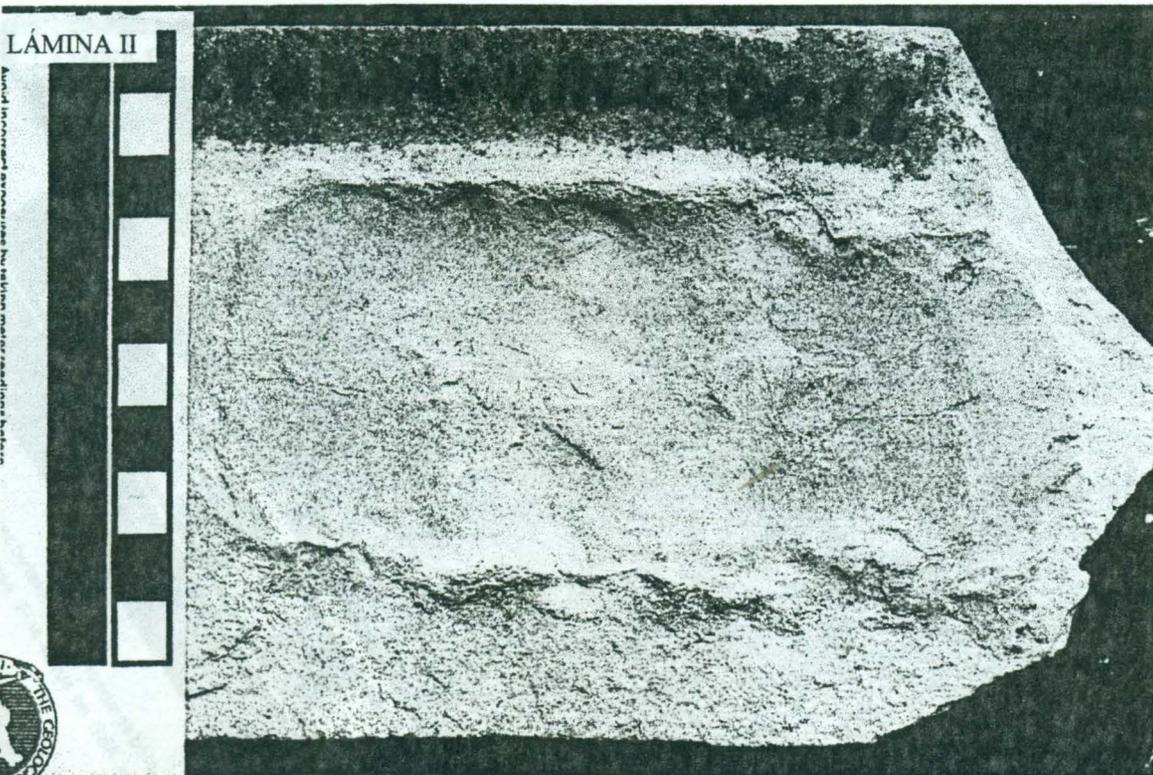


LÁMINA III. Ejemplar del género *Spathites*.

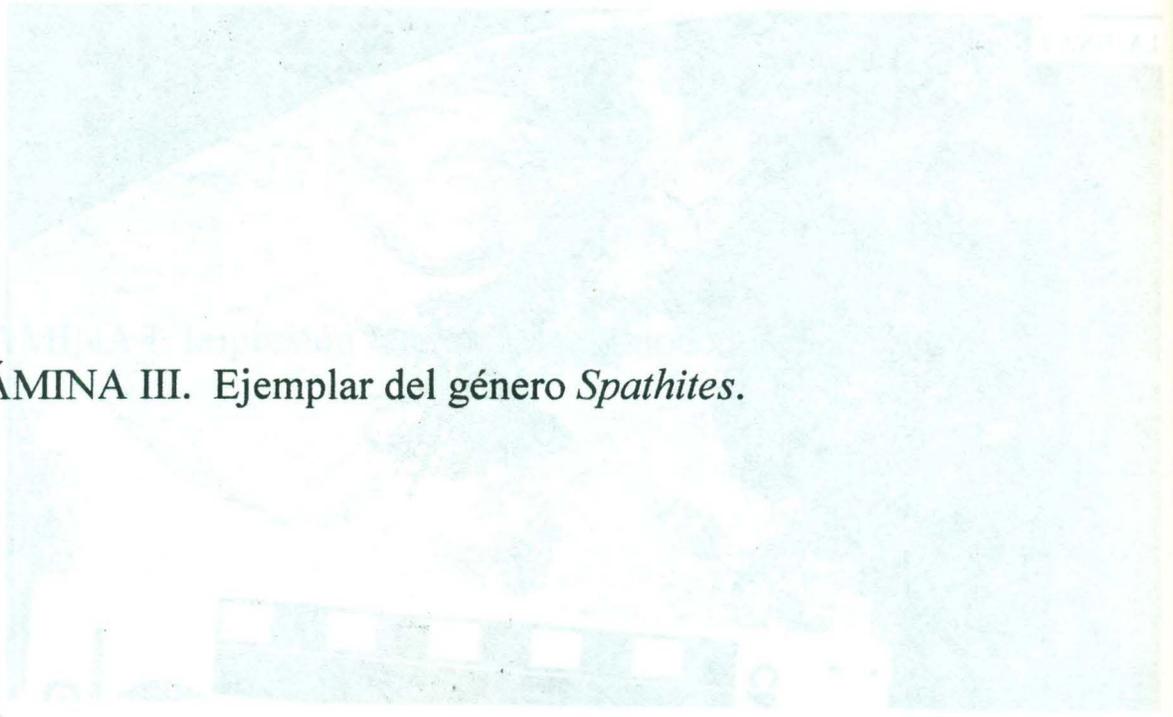


LÁMINA IV. *Spathites*, sp.

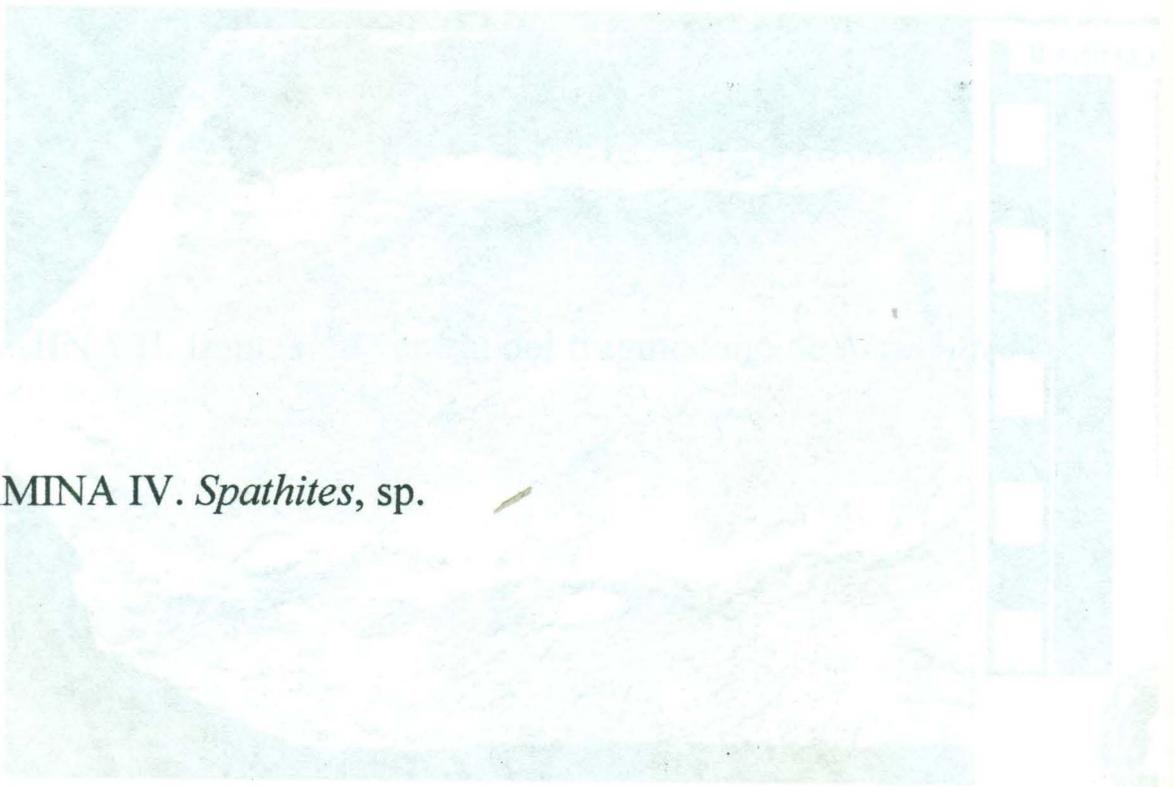


LÁMINA III



Avoid incorrect exposures by taking meter readings before

LÁMINA IV



...es by taking meter readings before
...ea. Fine-focus on GSA.

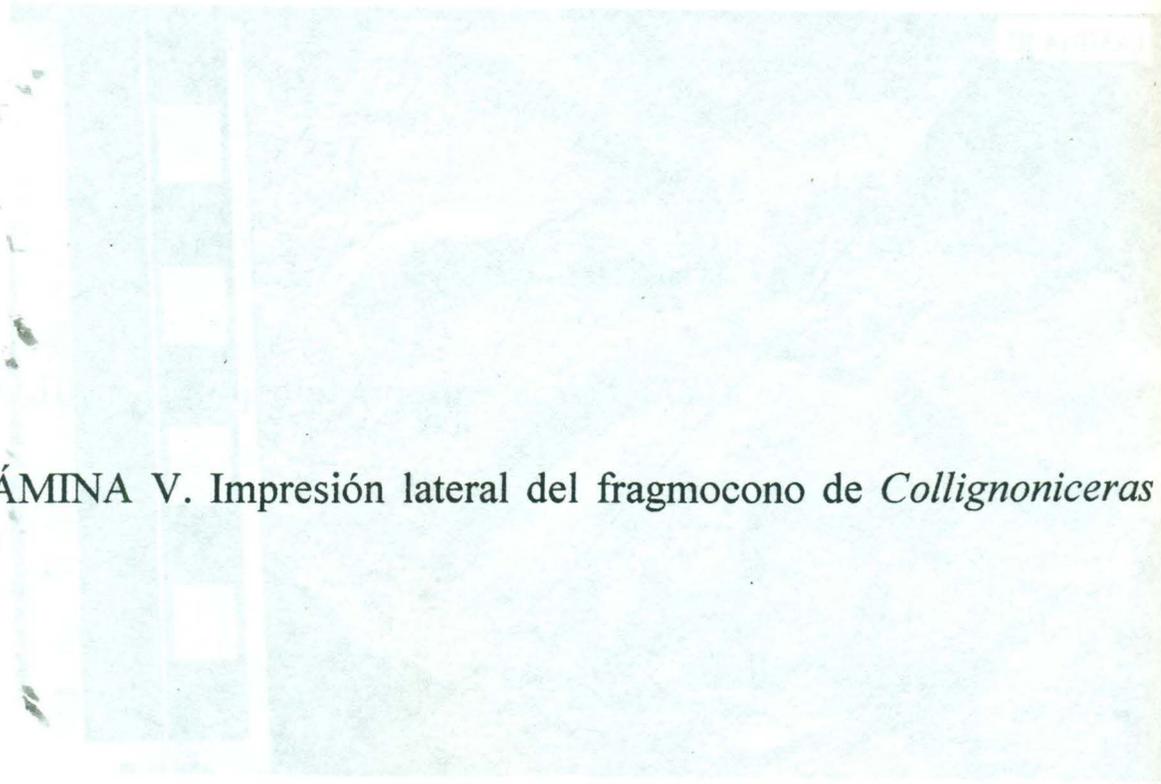


LÁMINA V. Impresión lateral del fragmocono de *Collignoniceras*
sp

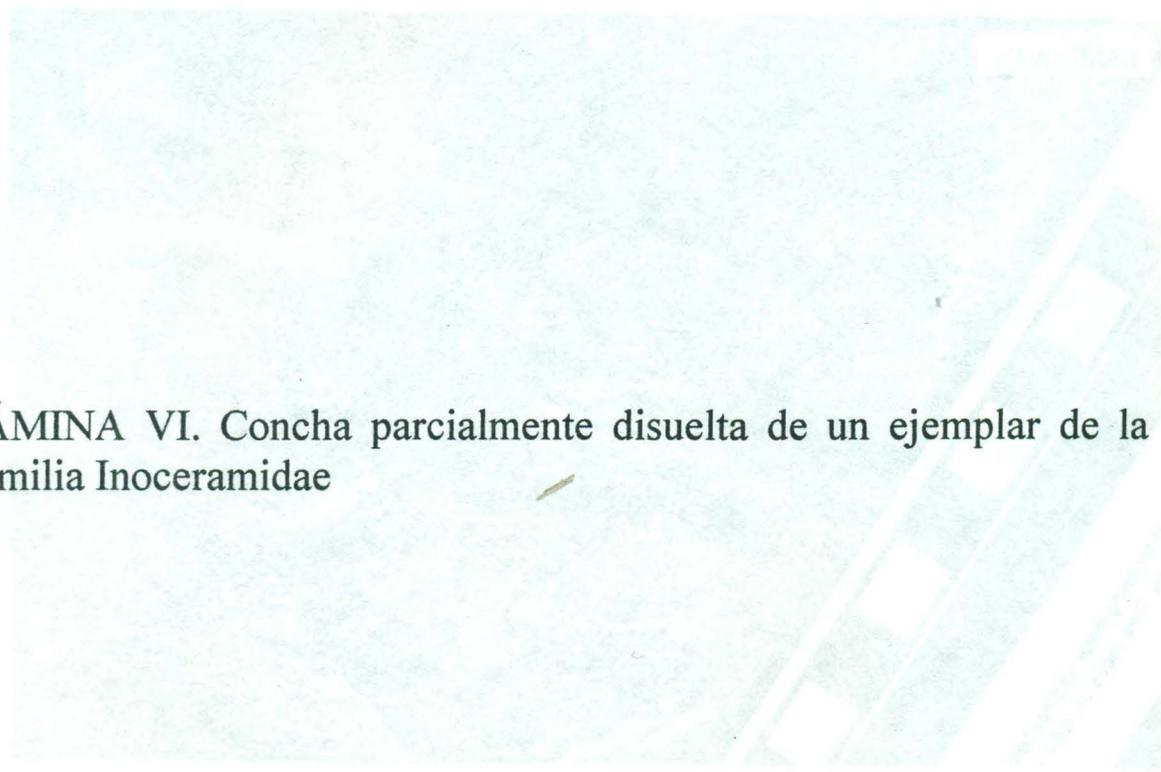
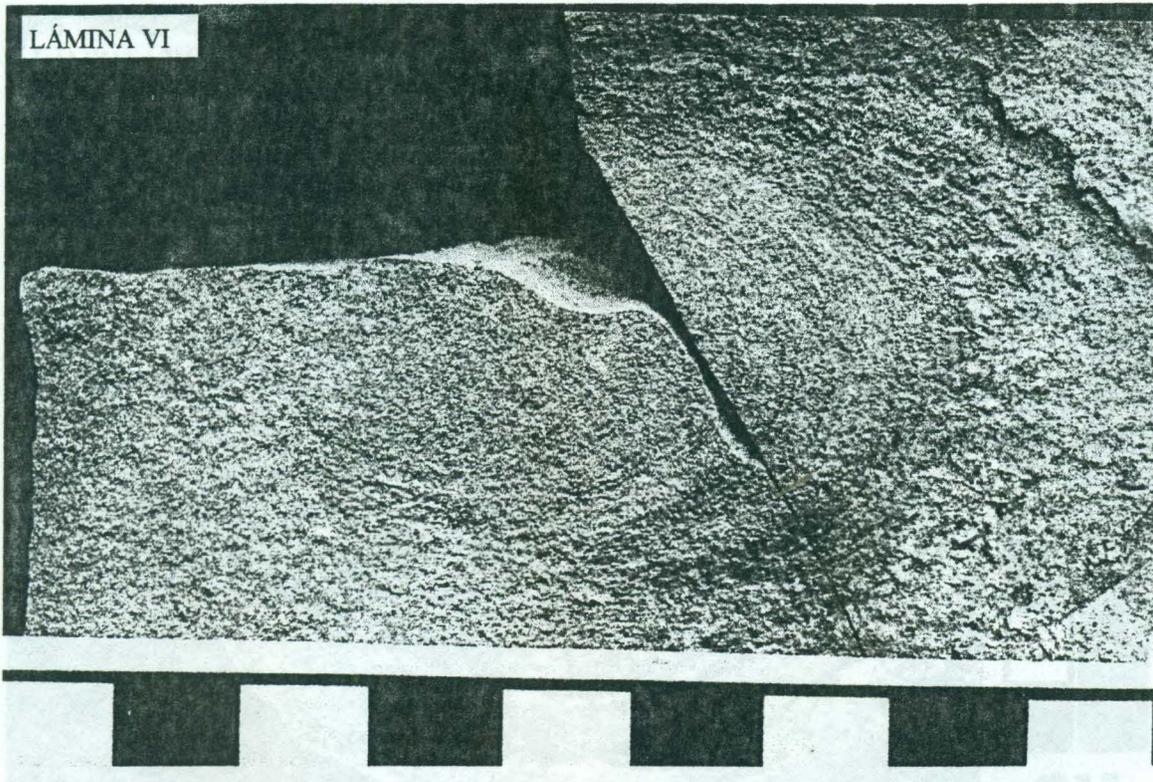
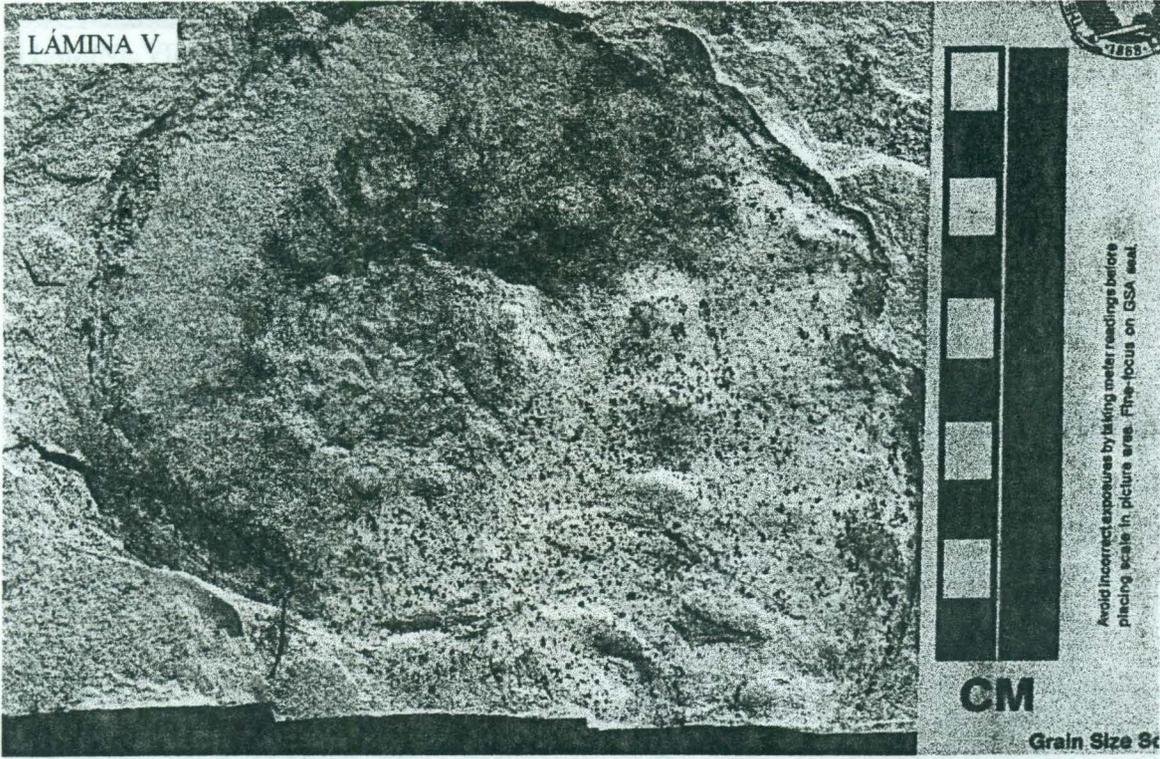


LÁMINA VI. Concha parcialmente disuelta de un ejemplar de la
Familia Inoceramidae



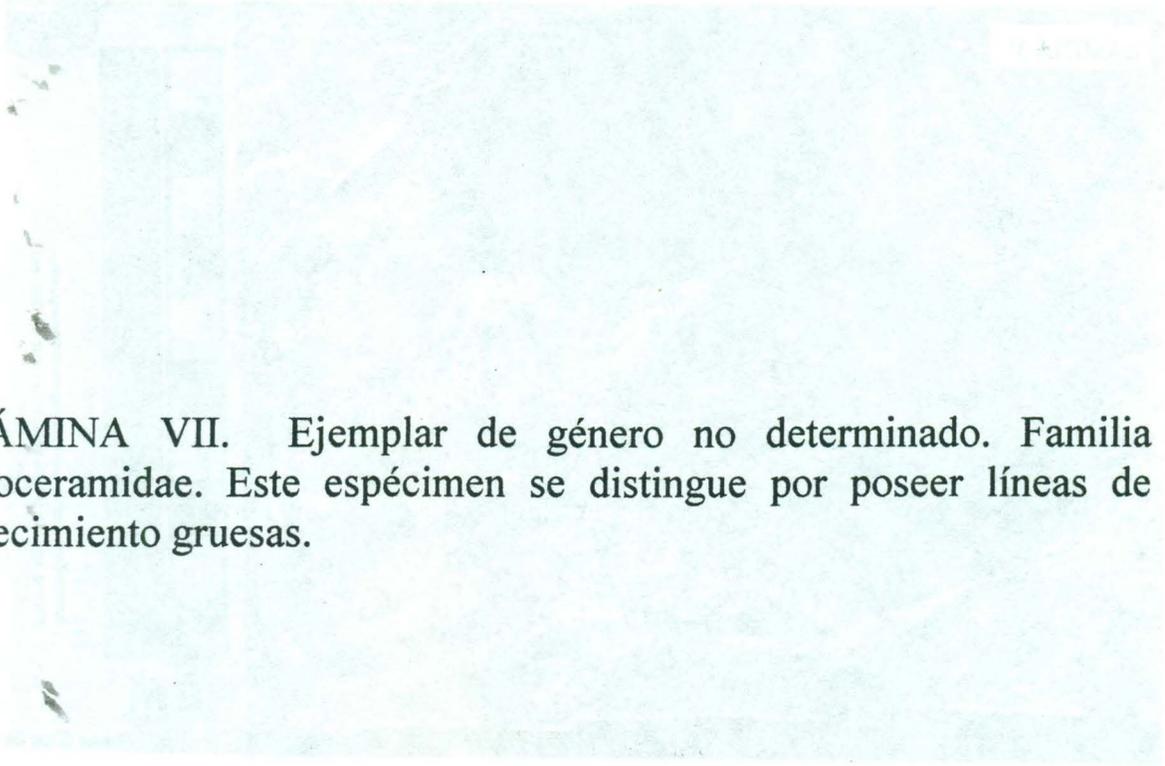


LÁMINA VII. Ejemplar de género no determinado. Familia Inoceramidae. Este espécimen se distingue por poseer líneas de crecimiento gruesas.

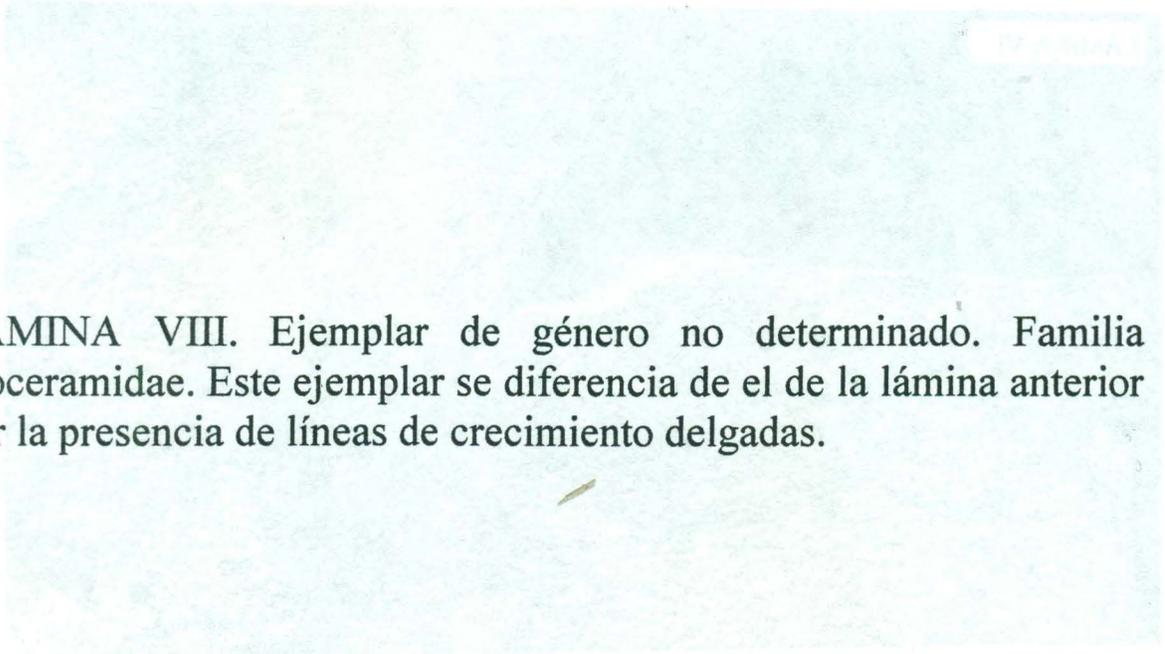
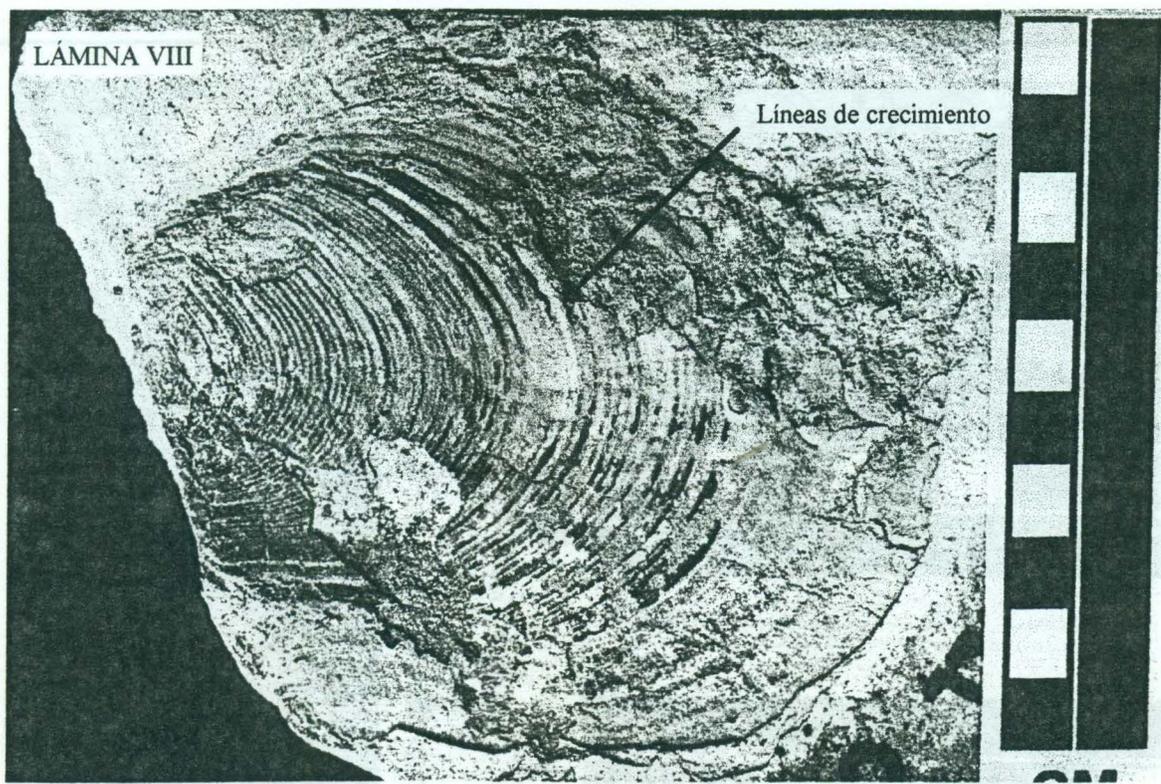


LÁMINA VIII. Ejemplar de género no determinado. Familia Inoceramidae. Este ejemplar se diferencia de el de la lámina anterior por la presencia de líneas de crecimiento delgadas.



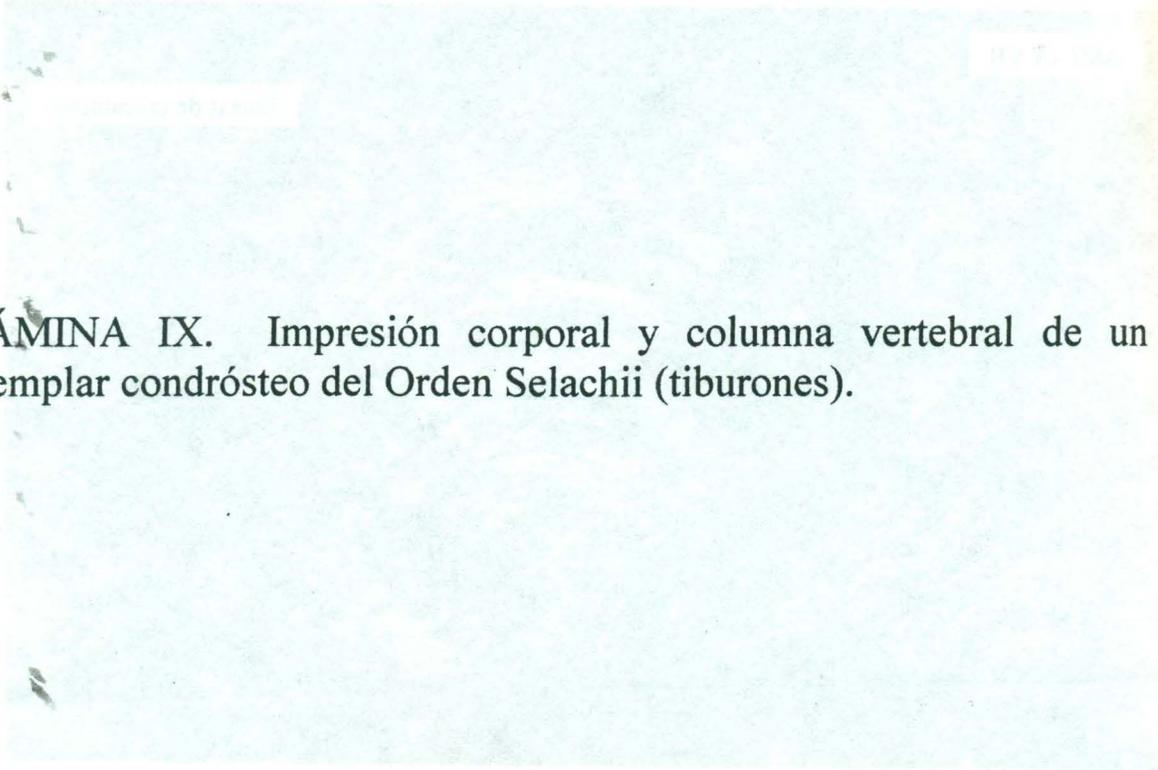


LÁMINA IX. Impresión corporal y columna vertebral de un ejemplar condrósteo del Orden Selachii (tiburones).

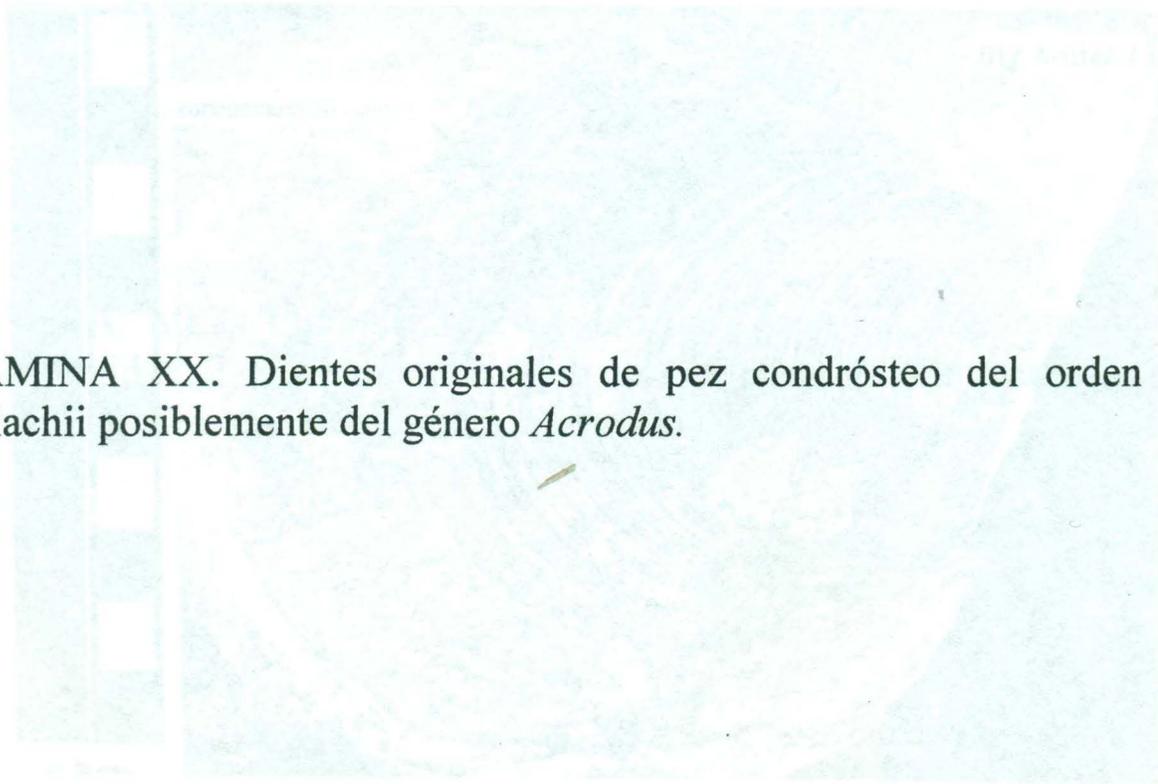


LÁMINA XX. Dientes originales de pez condrósteo del orden Selachii posiblemente del género *Acrodus*.

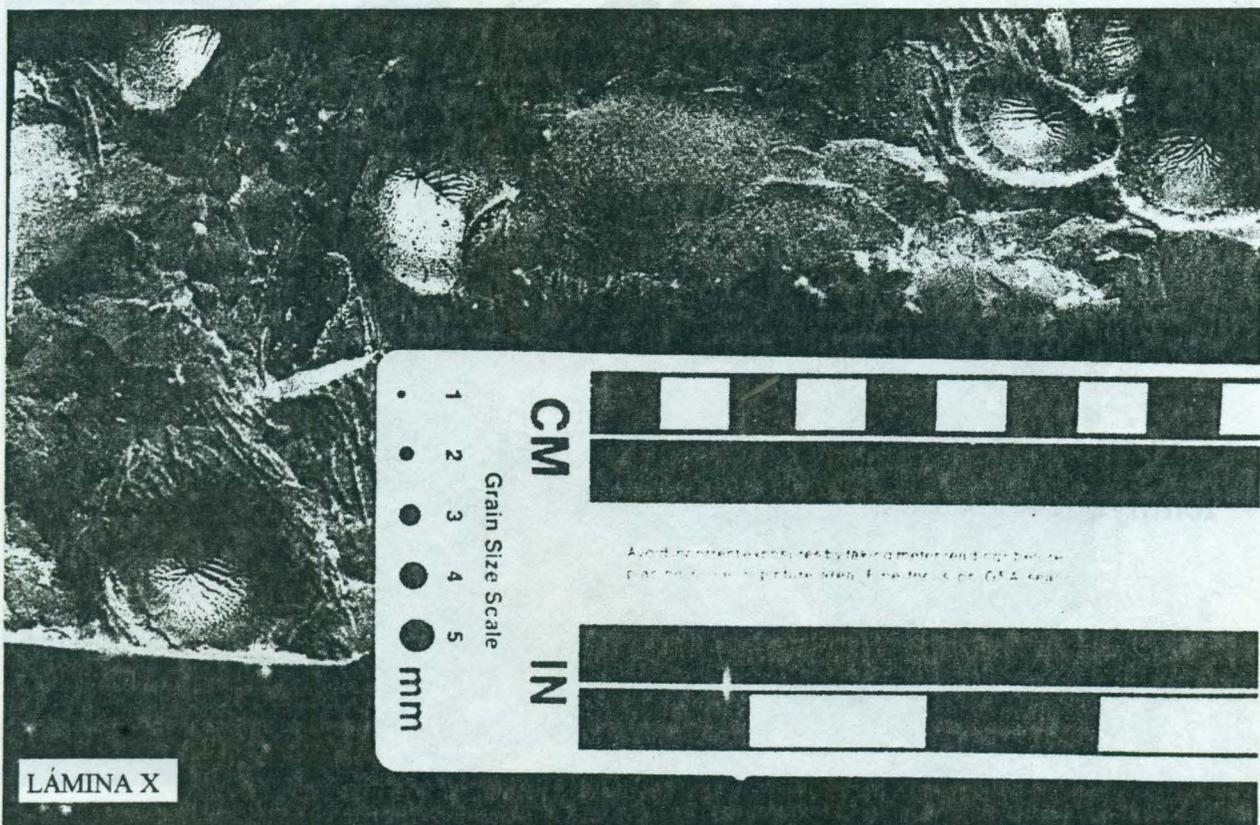
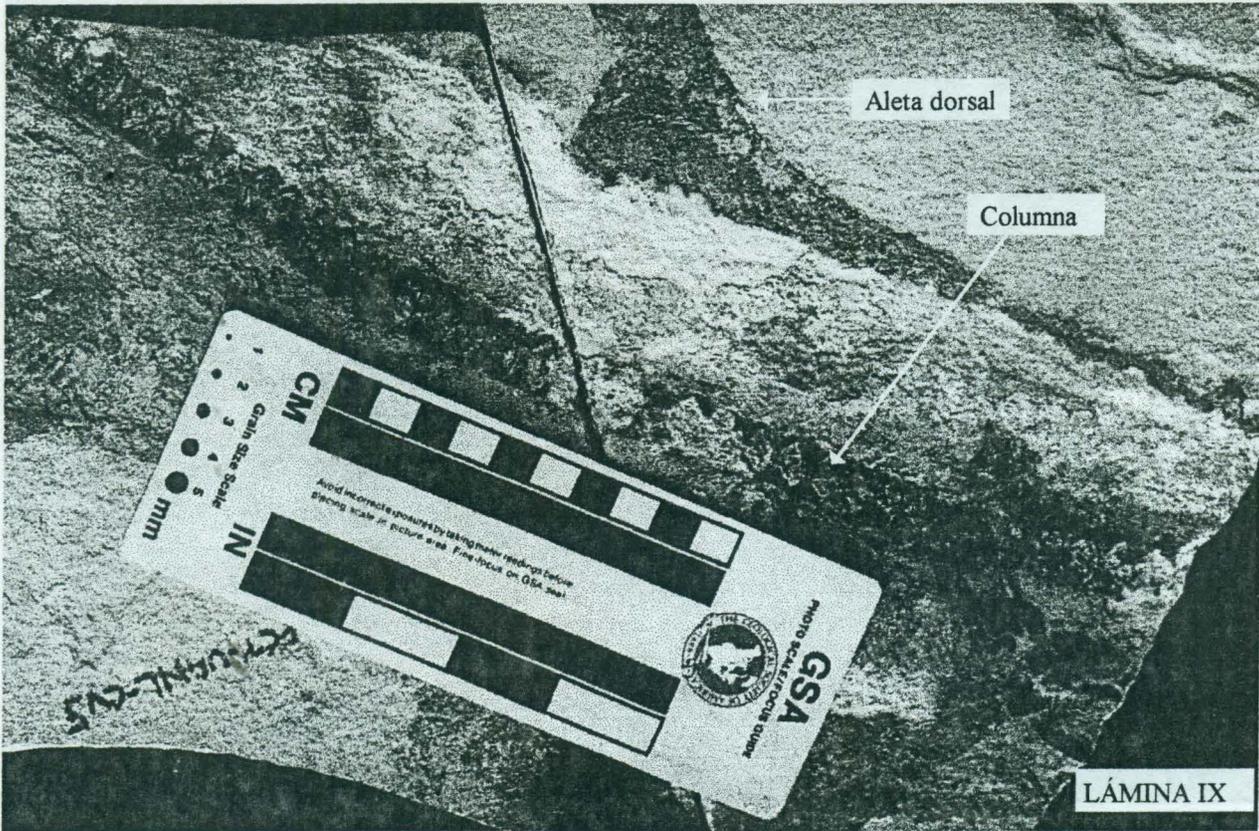
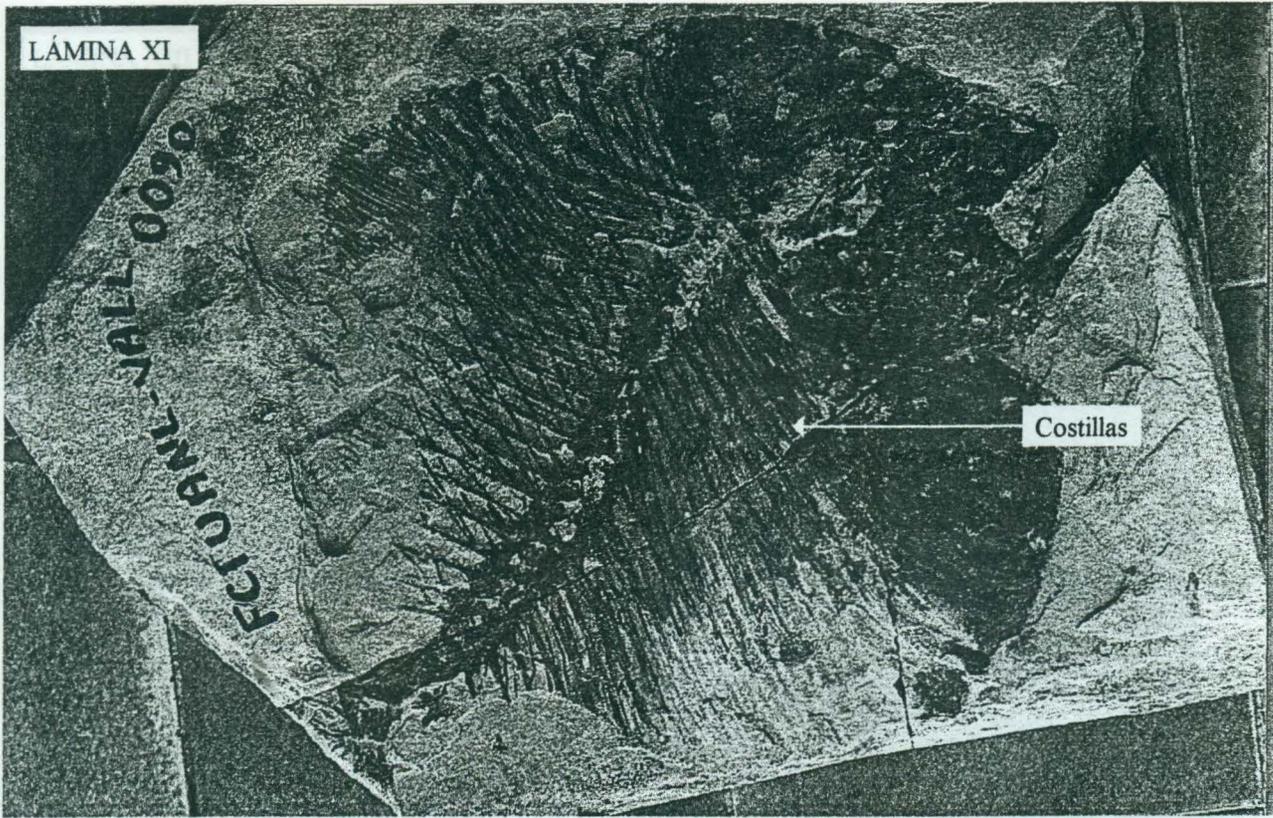


LÁMINA XI. Ejemplar completo de pez holósteo del Orden Pycnodontoidea.

LÁMINA XII. Cráneo de pez teleósteo del Orden Ichthyodectiformes

LÁMINA XI



Costillas

LÁMINA XII



Dientes cónicos

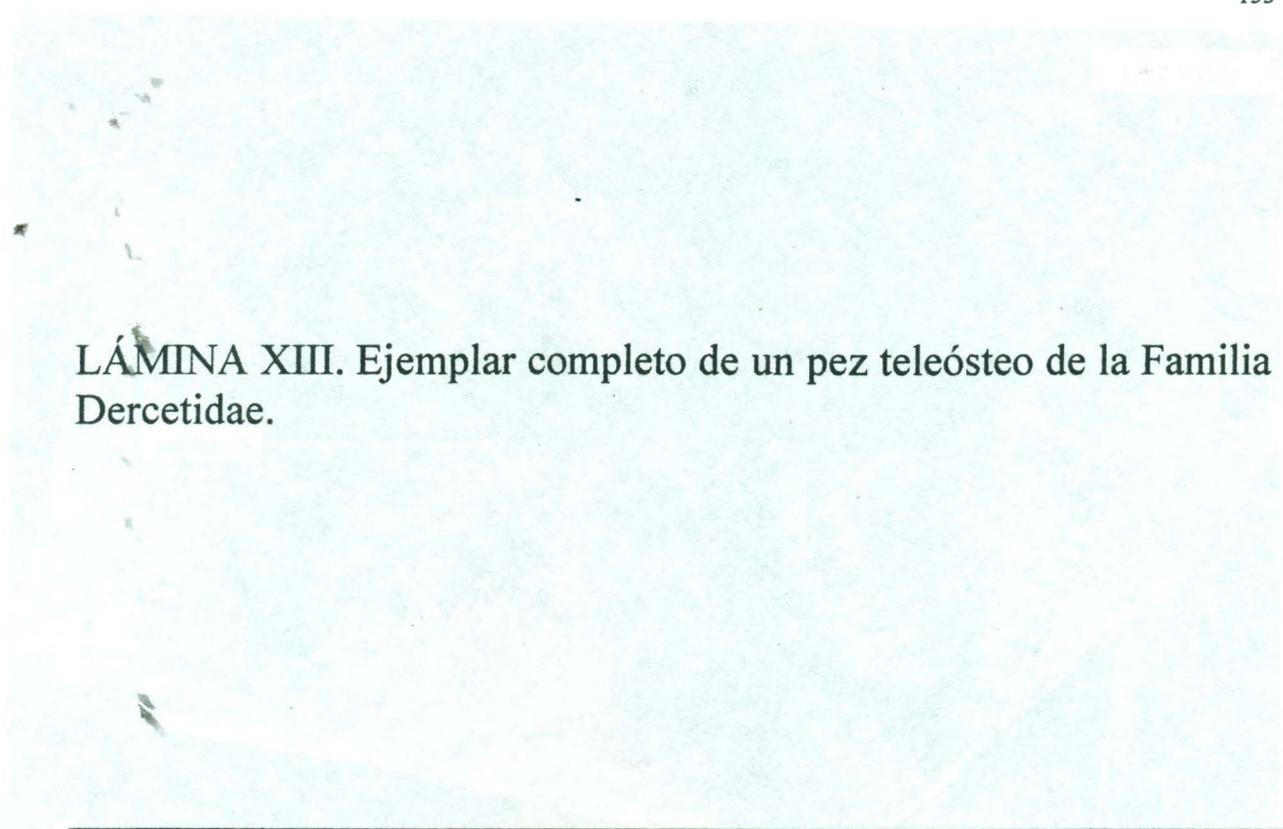


LÁMINA XIII. Ejemplar completo de un pez teleósteo de la Familia Dercetidae.

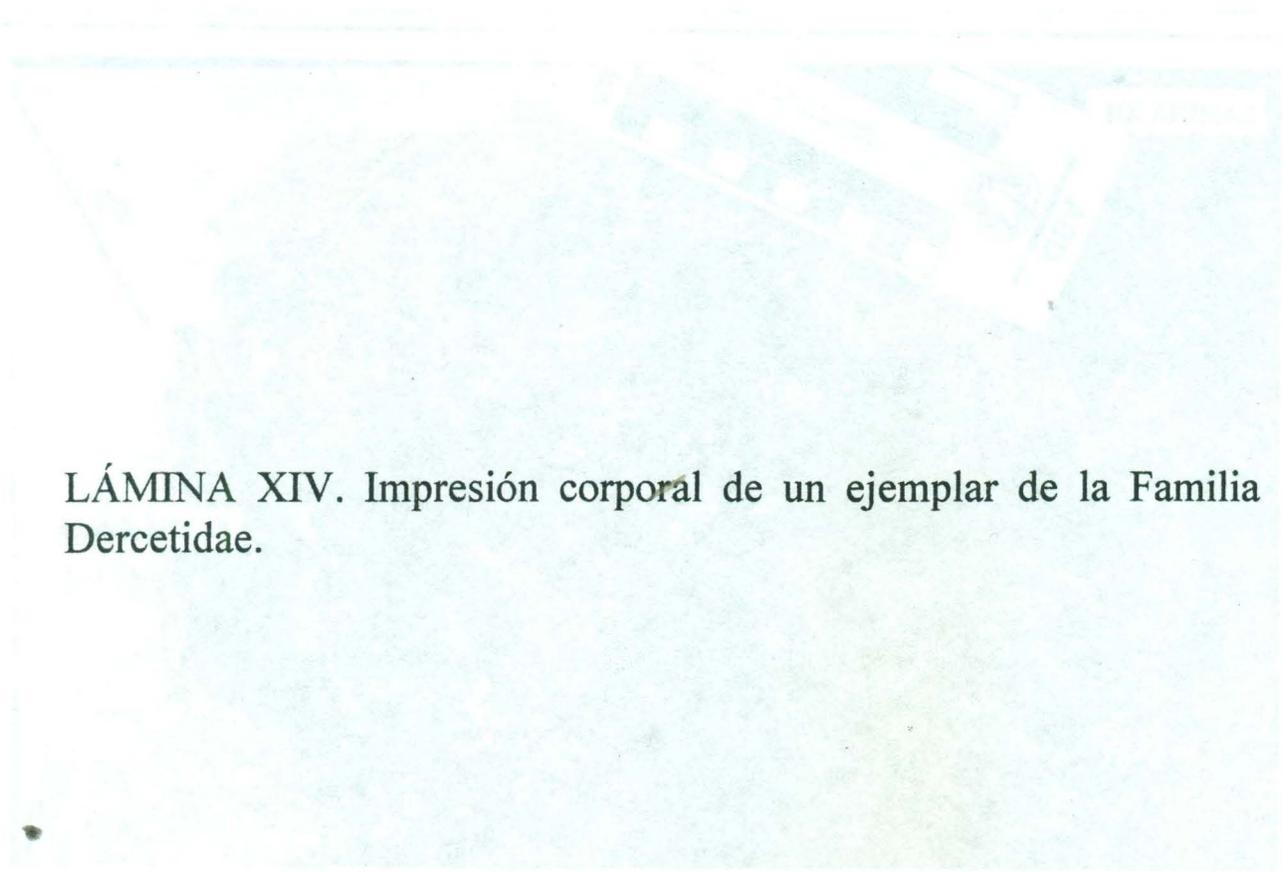


LÁMINA XIV. Impresión corporal de un ejemplar de la Familia Dercetidae.

LÁMINA XIII

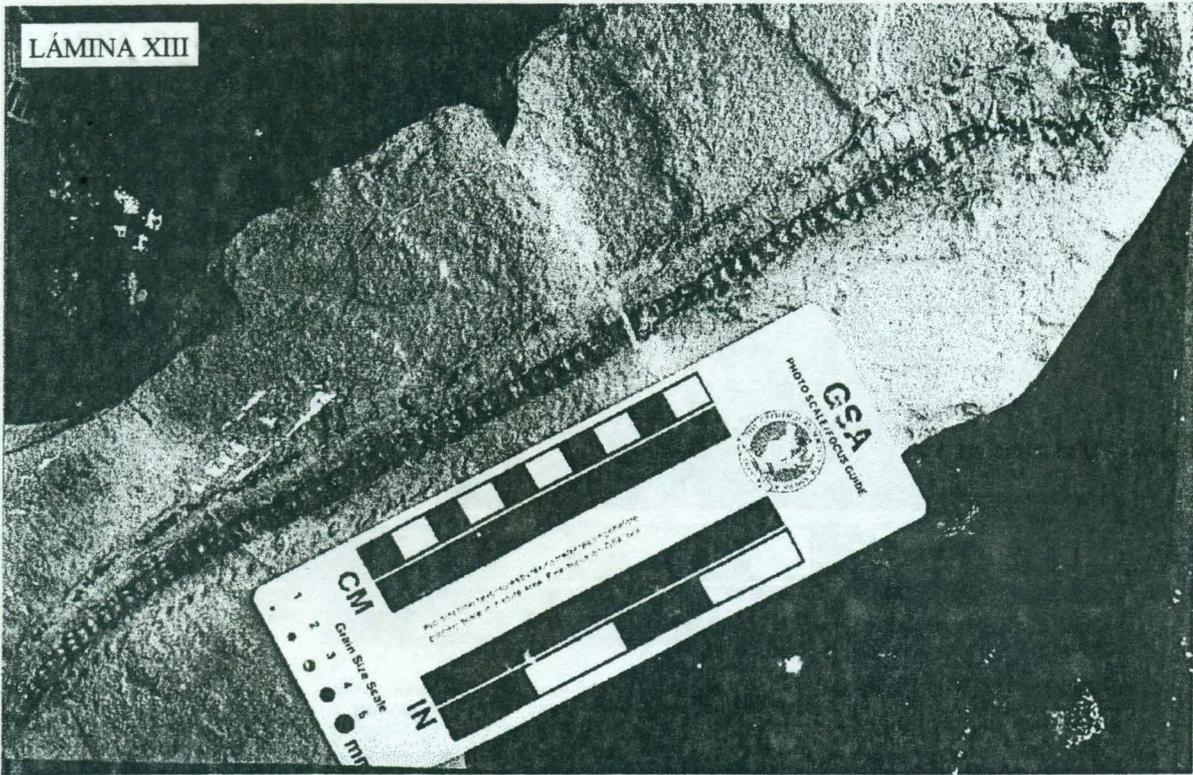


LÁMINA XIV

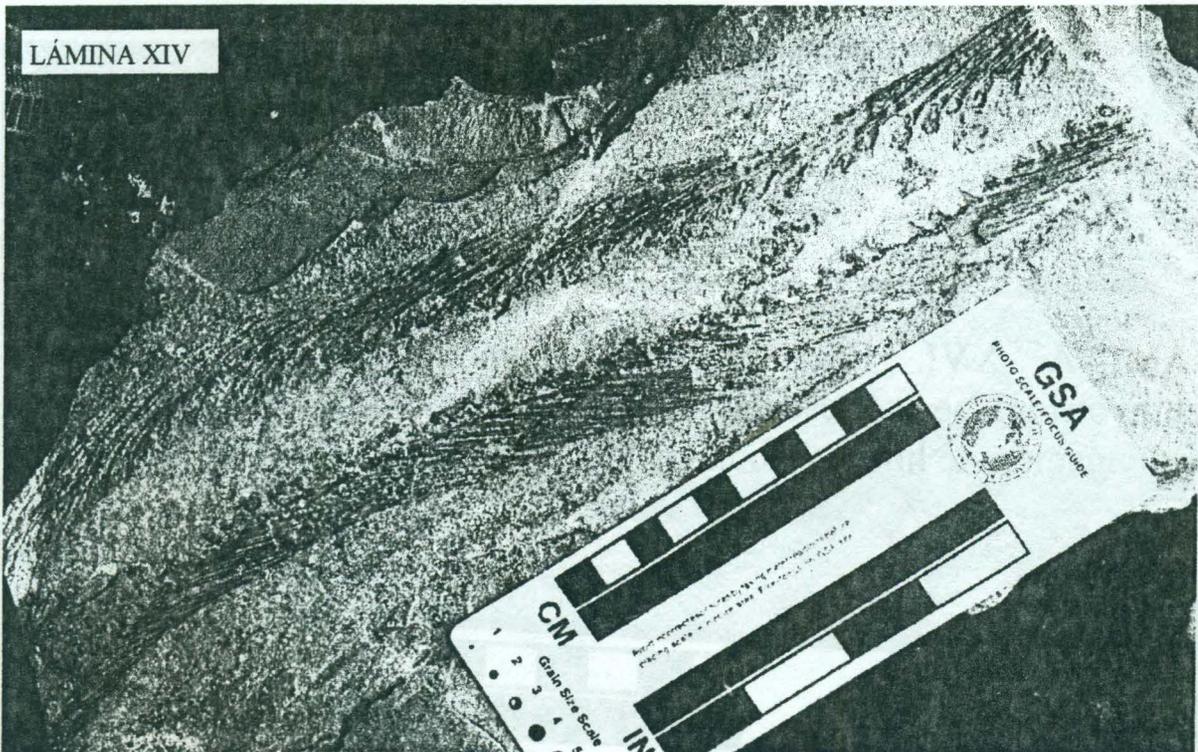


LÁMINA XVI

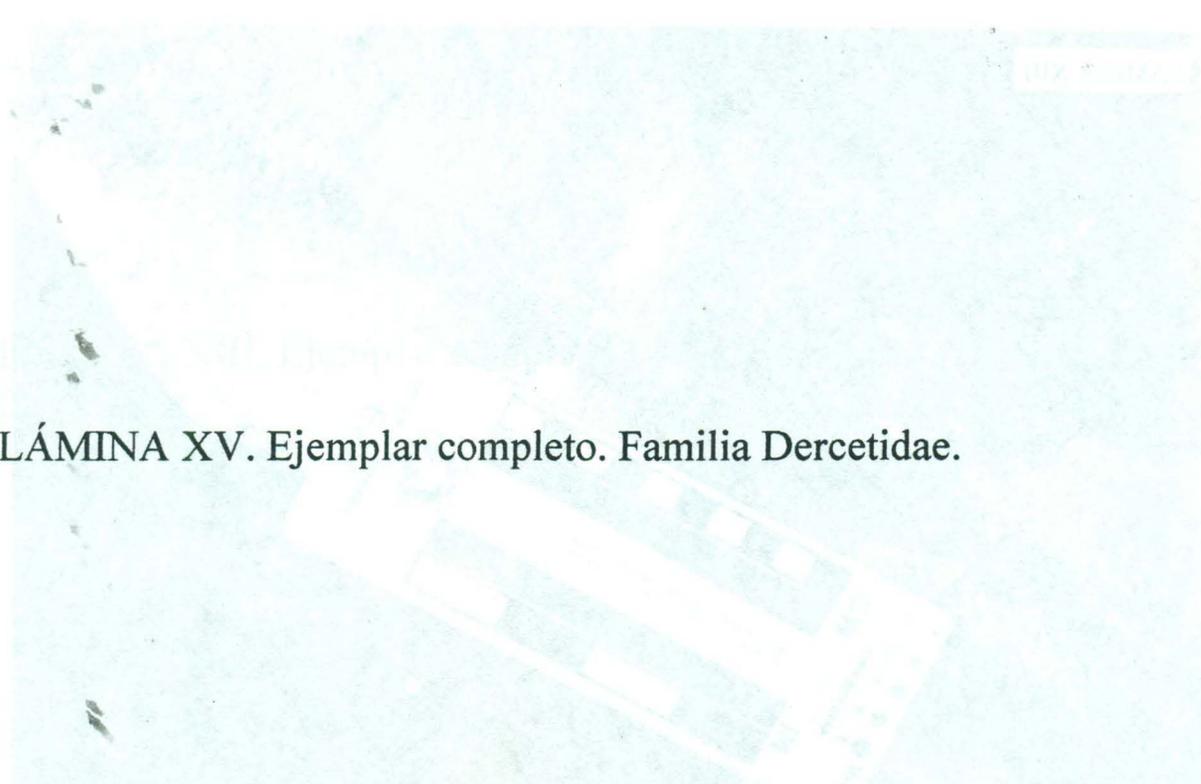


LÁMINA XV. Ejemplar completo. Familia Dercetidae.

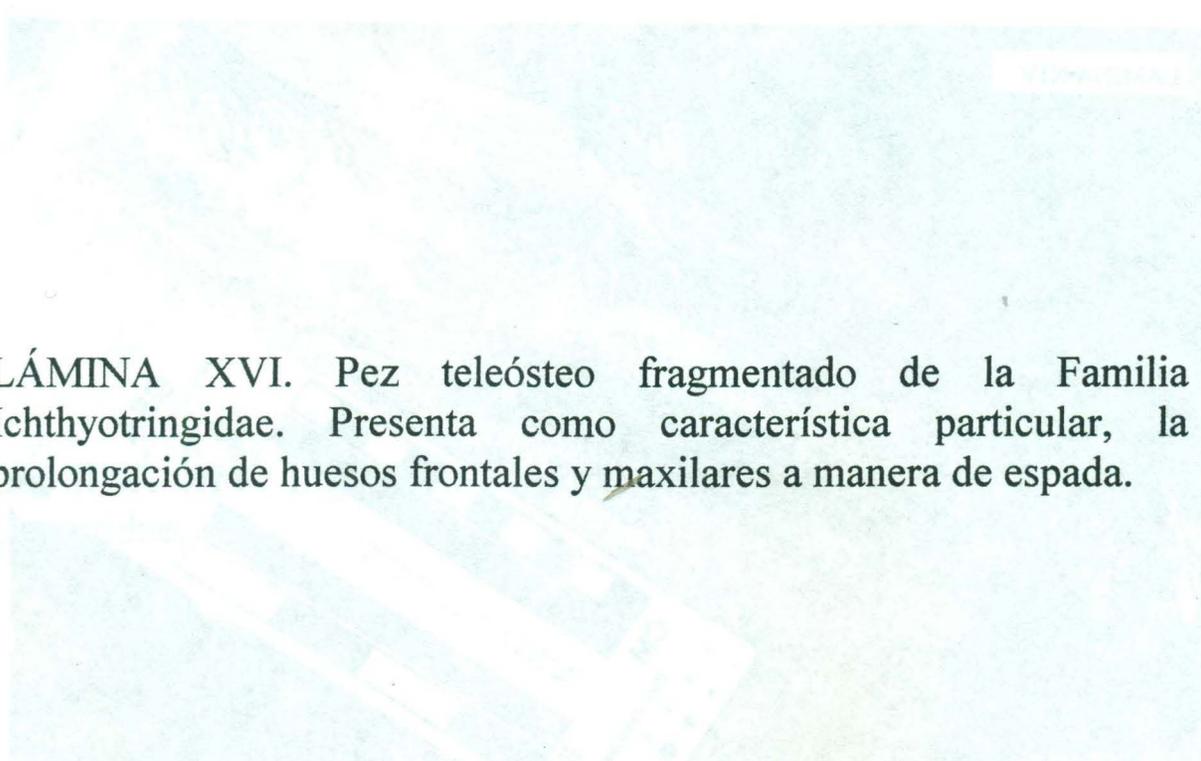
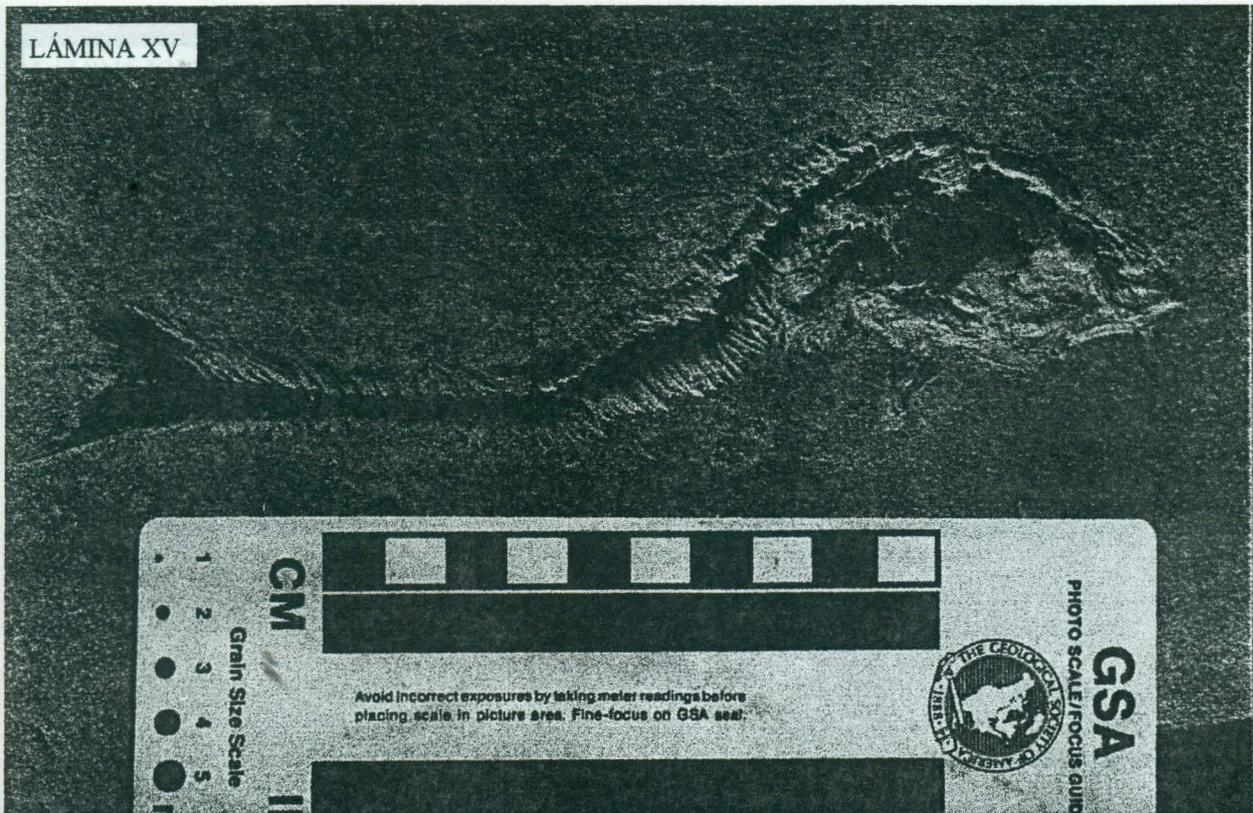


LÁMINA XVI. Pez teleósteo fragmentado de la Familia Ichthyotringidae. Presenta como característica particular, la prolongación de huesos frontales y maxilares a manera de espada.

LÁMINA XV



Fragmentación de la columna



LÁMINA XVI

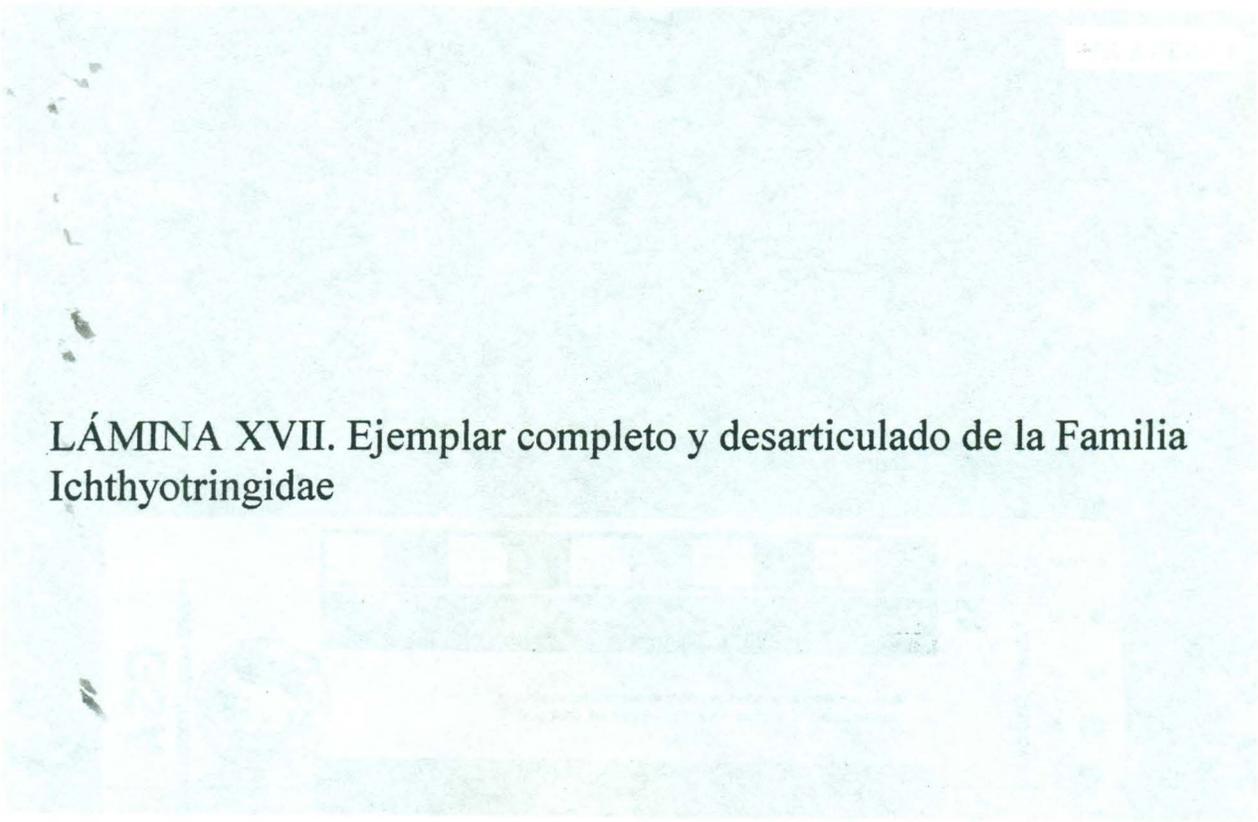


LÁMINA XVII. Ejemplar completo y desarticulado de la Familia Ichthyotringidae

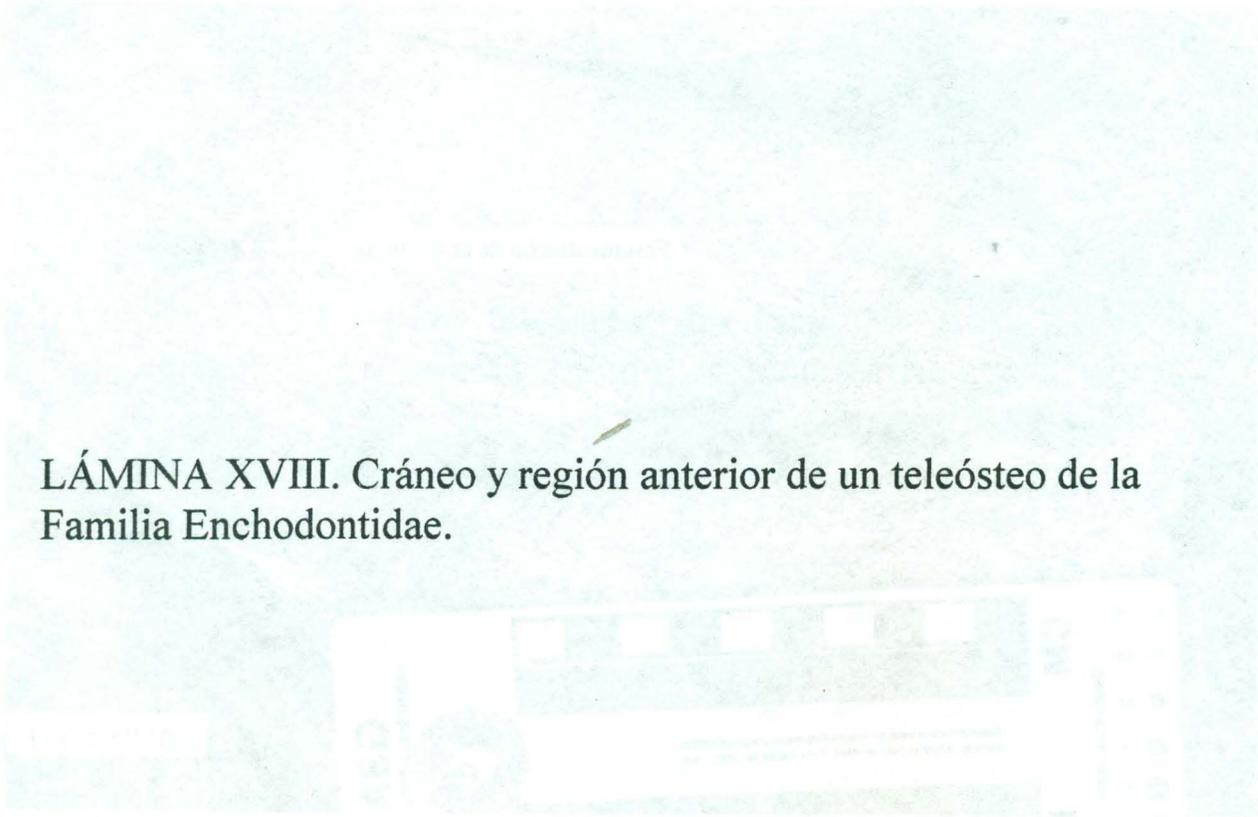


LÁMINA XVIII. Cráneo y región anterior de un teleósteo de la Familia Enchodontidae.

LÁMINA XVII

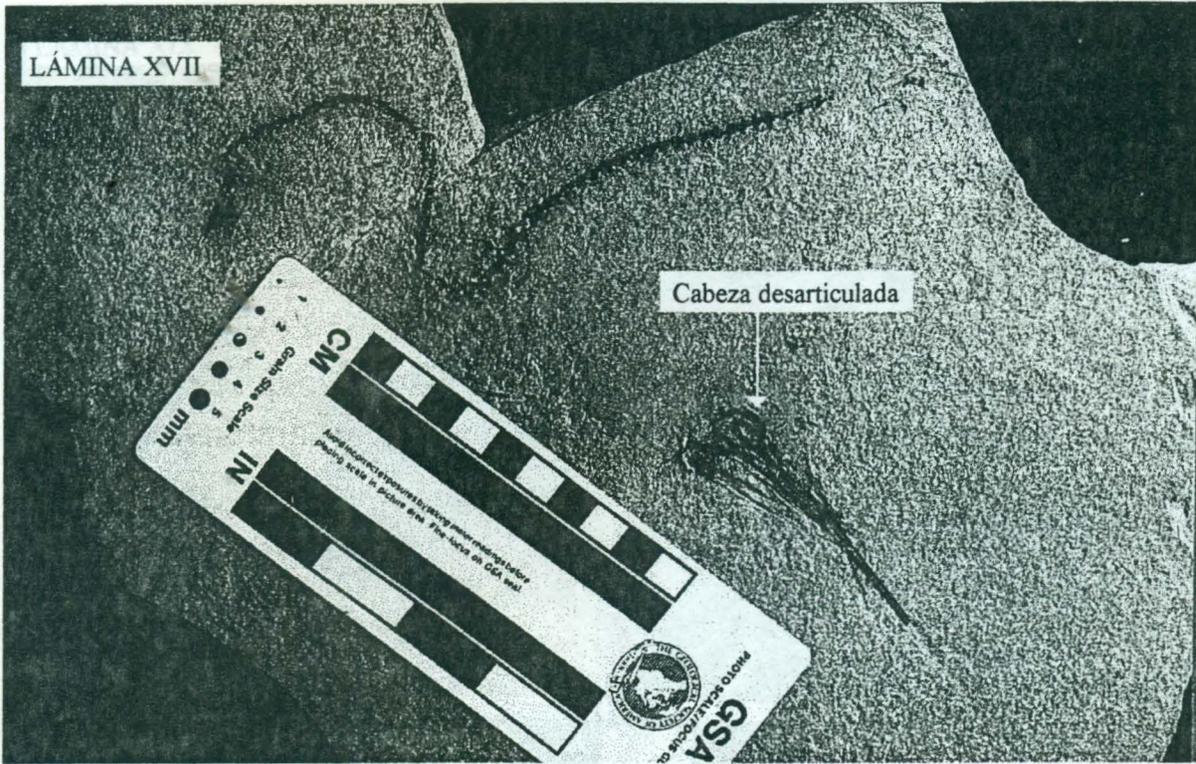
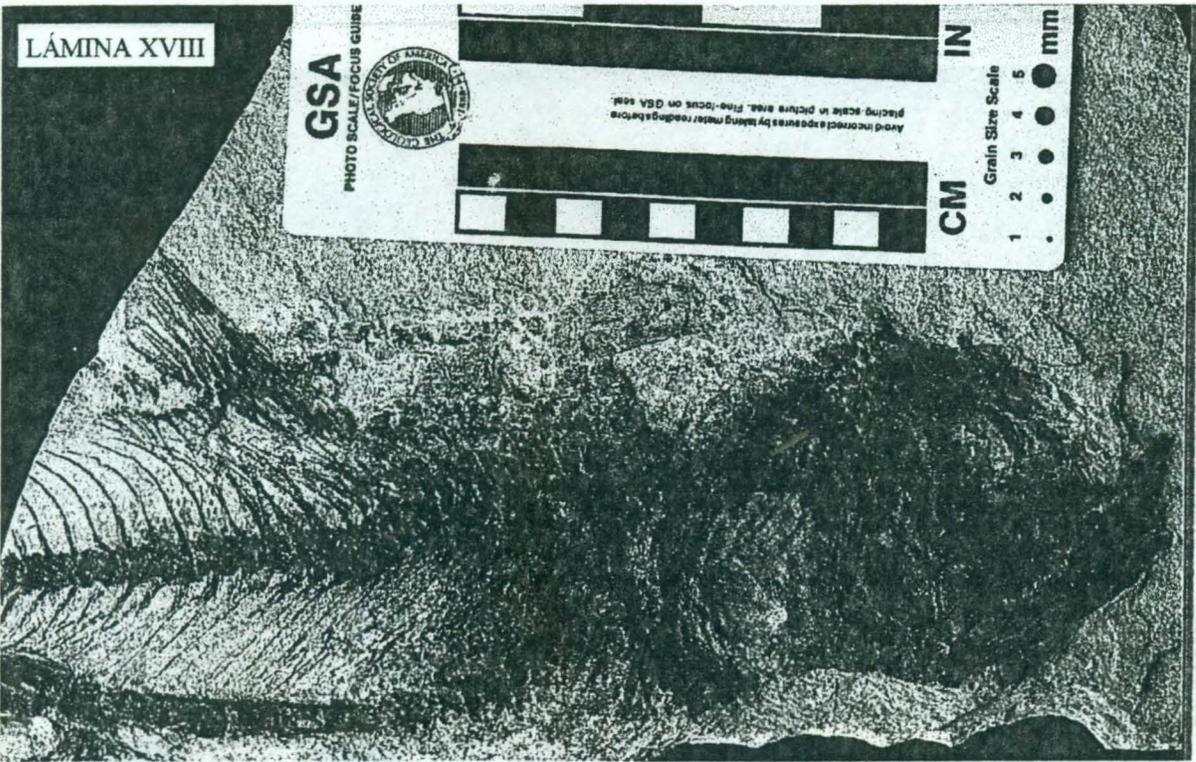


LÁMINA XVIII



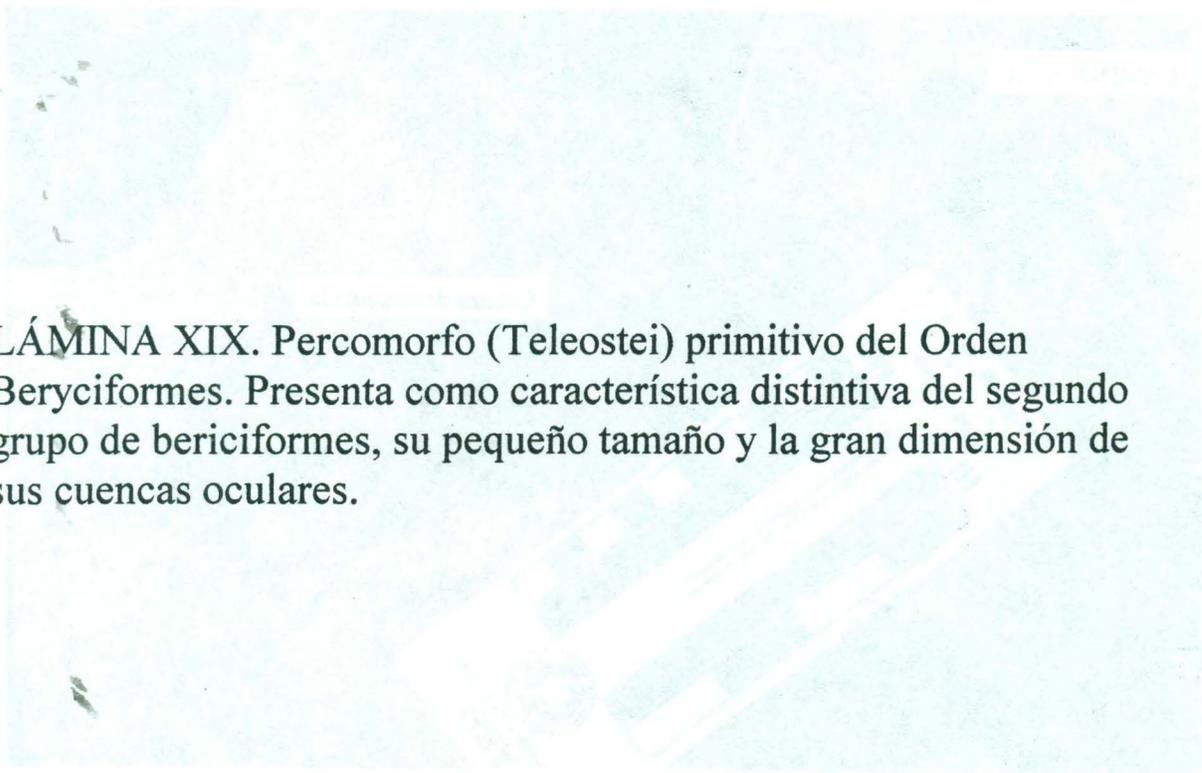


LÁMINA XIX. Percomorfo (Teleostei) primitivo del Orden Beryciformes. Presenta como característica distintiva del segundo grupo de bericiformes, su pequeño tamaño y la gran dimensión de sus cuencas oculares.

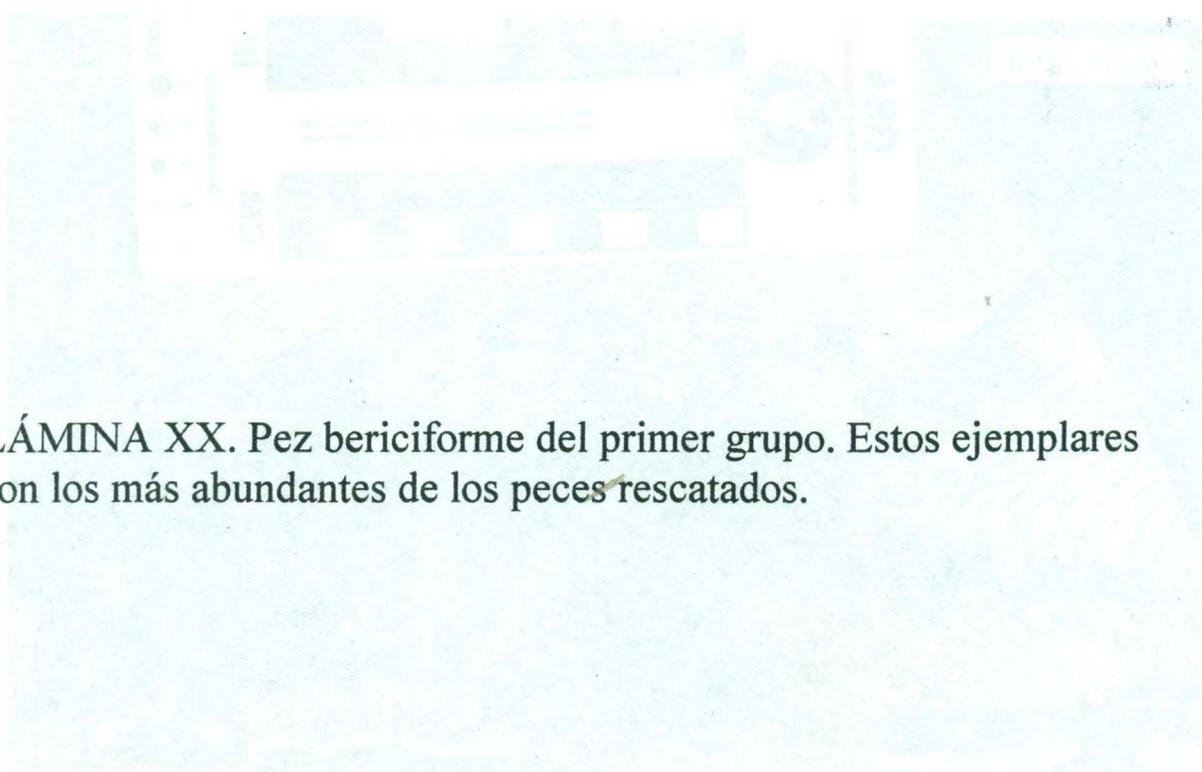


LÁMINA XX. Pez bericiforme del primer grupo. Estos ejemplares son los más abundantes de los peces rescatados.

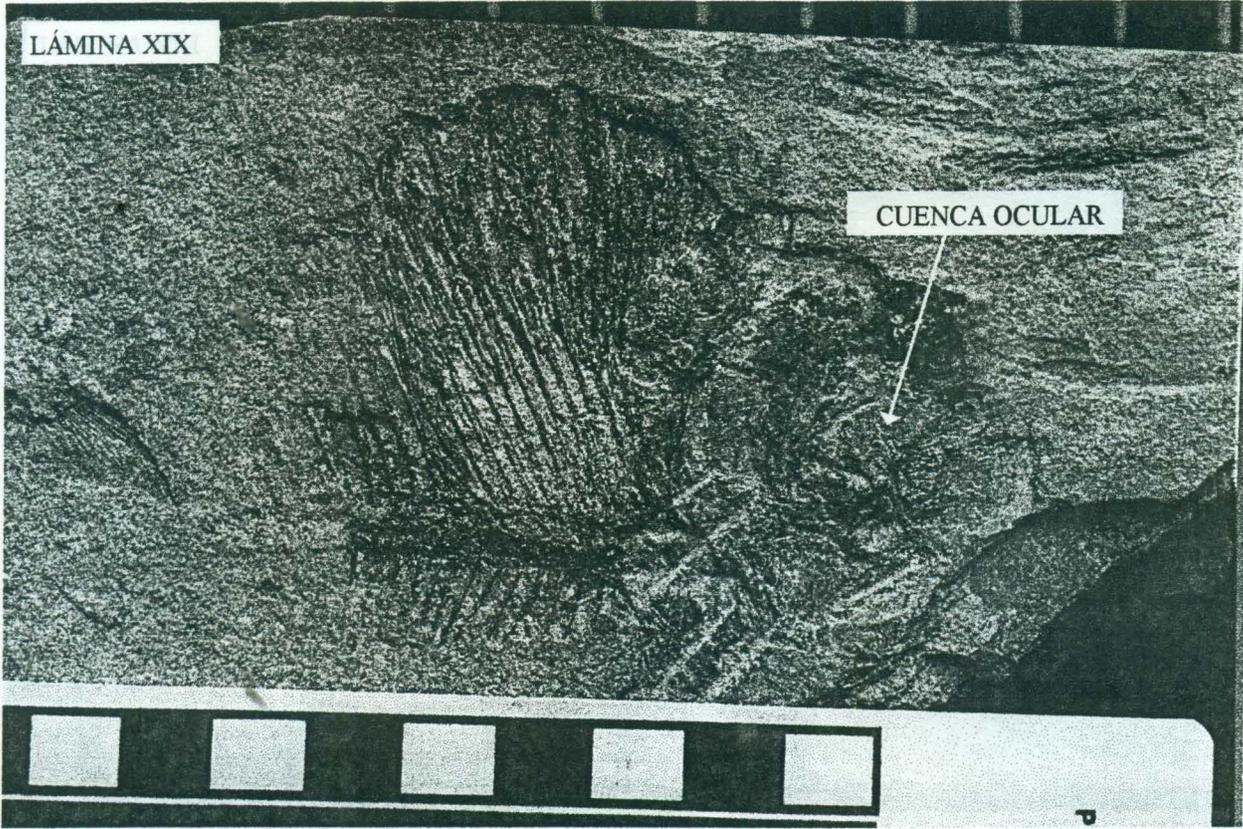


LÁMINA XXI. Percomorfo primitivo del Orden Beryciformes. Este ejemplar presenta una espina dorsal y una ventral de gran longitud (mayor a los 10cm).

LÁMINA XXII. Región caudal de pez bericiforme.

LÁMINA XXI

FCTUANL
VALL C

Espina en posición dorsal

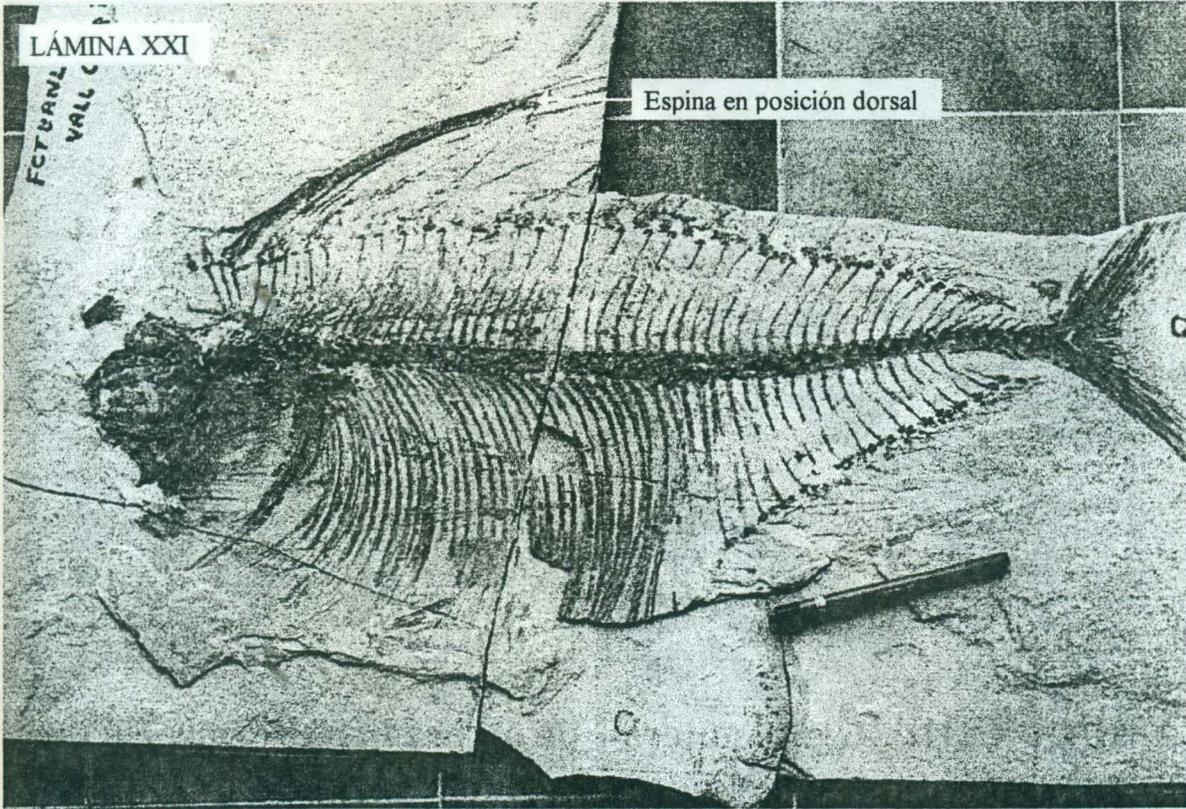


LÁMINA XXII

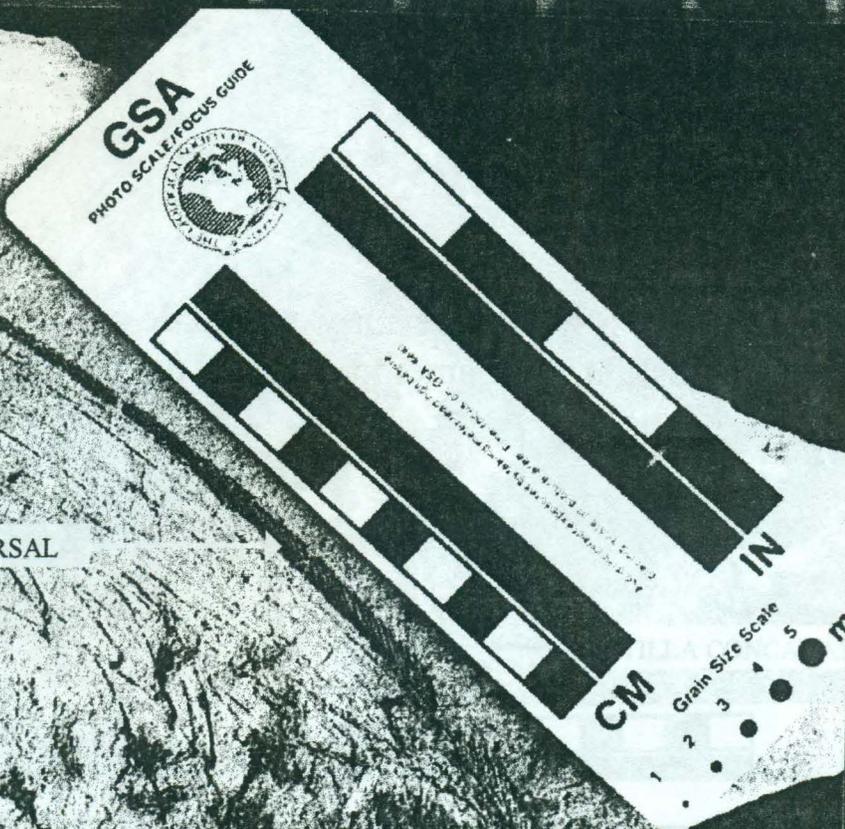




LÁMINA XXIII. Región anterior de un pez bericiforme. En esta lámina se muestra la espina dorsal característica del grupo.



LÁMINA XXXIII



ESPINA DORSAL

COSTILLAS



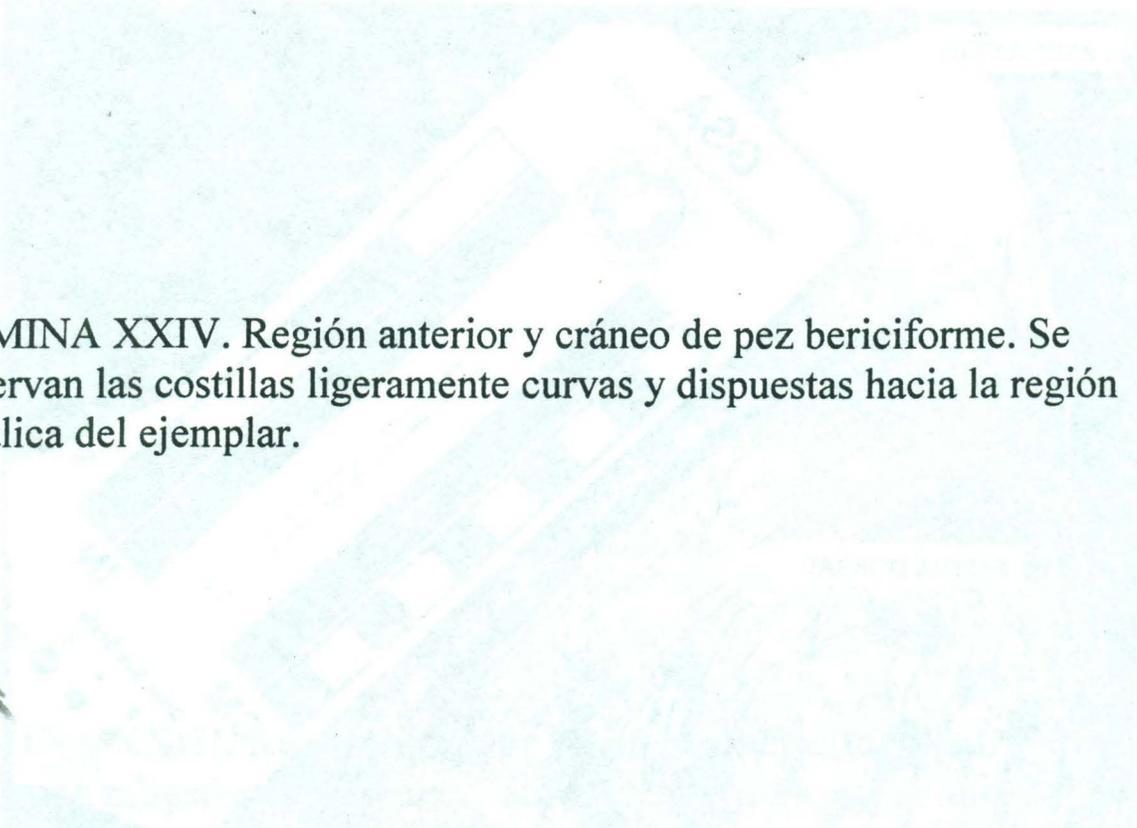


LÁMINA XXIV. Región anterior y cráneo de pez bericiforme. Se observan las costillas ligeramente curvas y dispuestas hacia la región cefálica del ejemplar.

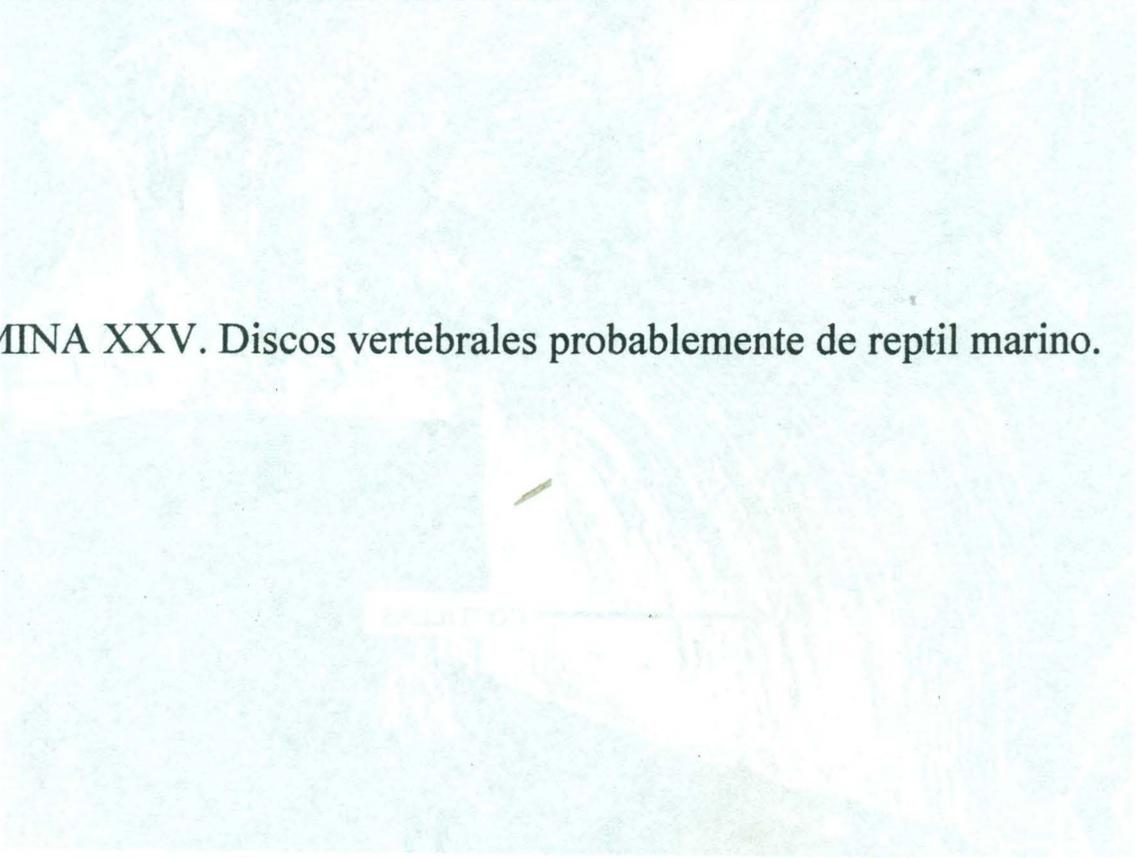


LÁMINA XXV. Discos vertebrales probablemente de reptil marino.

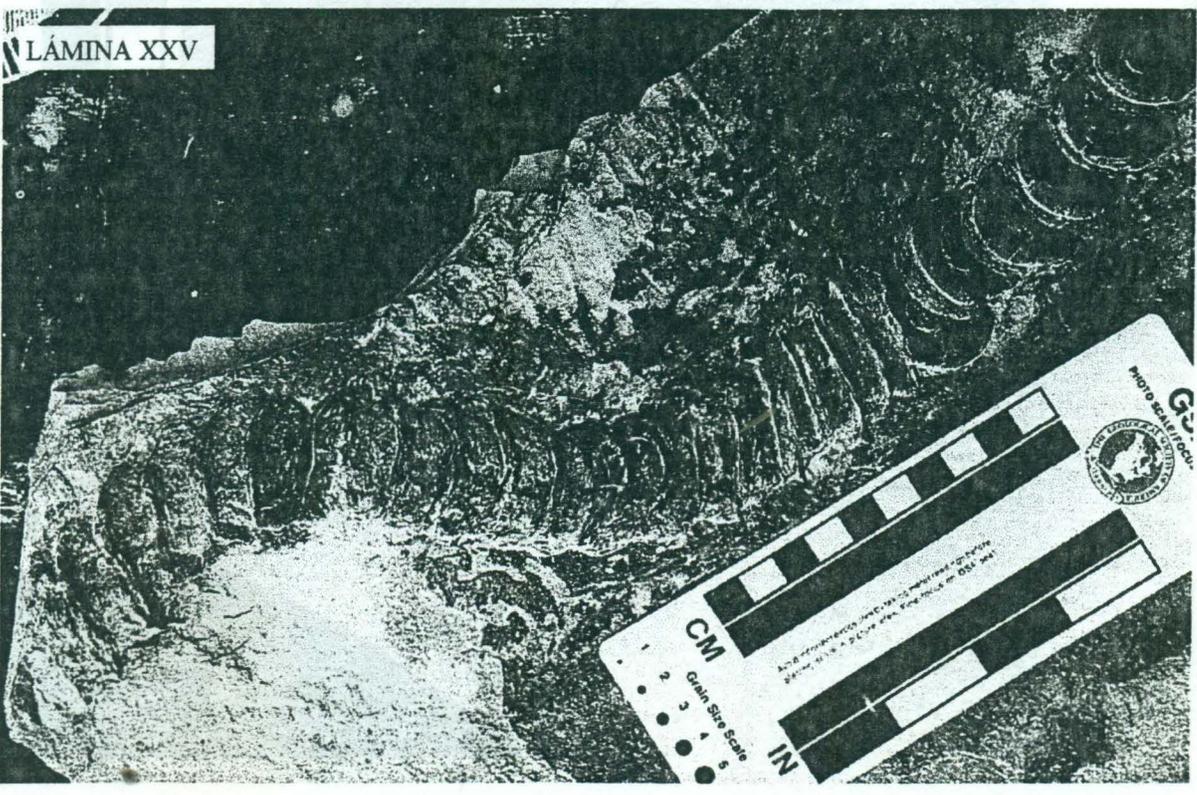


LÁMINA XXVI. Reptil del Orden Chelonia posiblemente representante del género *Chemis*.

LÁMINA XXVI

