



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**ESTUDIO GRANULOMÉTRICO-MICROFACIAL EN BRECHAS  
CALCÁREAS DE UNA ZONA DE TRANSICIÓN "PLATAFORMA-  
CUENCA" – UN EJEMPLO EN LA PORCIÓN CENTRAL DEL  
ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ. IMPLICACIONES  
DEPOSICIONALES Y PALEOGEOGRÁFICAS.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN GEOLOGÍA APLICADA**

PRESENTA

**ING. EDGARD IVÁN RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ**

ASESOR

**DR. RUBÉN LÓPEZ DONCEL**

ALUMNO BECADO POR

**CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

CLAVE 185151



San Luis Potosí, S.L.P., agosto del 2007



Facultad de Ingeniería



Universidad Autónoma  
de San Luis Potosí

15 de marzo de 2007

**AL ING. EDGARD IVÁN RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ  
P R E S E N T E. –**

En atención a su solicitud de Tema y Temario, presentado por el **Dr. Rubén Alfonso López Doncel**, Asesor de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestría en Ciencias en Geología Aplicada**. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 15 de marzo del presente año, fue aprobado el Tema y Temario propuesto:

**TEMARIO:**

**"ESTUDIO GRANULOMÉTRICO-MICROFACIAL EN BRECHAS CALCÁREAS DE UNA ZONA DE TRANSICIÓN "PLATAFORMA-CUENCA" – UN EJEMPLO EN LA PORCIÓN CENTRAL DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ. IMPLICACIONES DEPOSICIONALES Y PALEOGEOGRÁFICAS."**

1. INTRODUCCIÓN
2. ESTUDIO GRANULOMÉTRICO DE LAS BRECHAS CALCÁREAS.
3. ANÁLISIS MICROFACIAL DE LAS BRECHAS CALCÁREAS.
4. MODELOS DEPOSICIONALES.
5. RECONSTRUCCIÓN PALEOGEOGRÁFICA.
6. CONCLUSIONES.  
BIBLIOGRAFÍA.

**"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"**

**A T E N T A M E N T E**

**ING. JOSÉ ARNOLDO GONZÁLEZ ORTIZ  
DIRECTOR**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN

bc

Los estudios de posgrado fueron financiados con el apoyo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con la beca clave 185151.

El trabajo de campo, laboratorio y edición de la presente Tesis de Maestría se realizó gracias al apoyo financiero del Proyecto CONACYT SEP-2003-C02-43966 "Relaciones estratigráficas y evolución paleogeográfica de las facies de talud del margen occidental de la plataforma cretácica Valles-San Luis Potosí, Centro de México", a cargo del Dr. Rubén López Doncel.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres Juan Felipe y Simona por haberme brindado la confianza y darme la oportunidad de continuar con mis estudios profesionales.

A mis hermanos Juan Carlos, Elizabeth y Oscar Alfredo por su gran cariño y apoyo.

Agradezco de manera especial al Dr. Rubén López Doncel, por su invaluable ayuda y asesoría en la realización del presente trabajo, así como sus enseñanzas, consejos y amistad que siempre me brindó.

A todos mis profesores del posgrado y personal del Instituto de Geología, en especial al Director del Instituto de Geología, Dr. J. Rafael Barboza Gudiño y al Coordinador del Posgrado, Dr. Javier Castro Larragoitia por su confianza depositada en mi.

Al Dr. Ricardo Saucedo Girón por su asesoría en el análisis granulométrico, al Dr. Rodolfo Rodríguez Ríos por haber facilitado su vehículo para el trabajo de campo, al Ing. Erasmo Mata Martínez por su asesoría en la elaboración de láminas delgadas y al M.C. Juan Manuel Torres Aguilera por su ayuda en la toma de fotografías en el microscopio.

A mi compañera y amiga, Ing. Judith Cruz Márquez por su valiosa ayuda en el trabajo de campo y gabinete, por su paciencia y buenos consejos.

Al Dr. J. Rafael Barboza Gudiño, al Dr. Ricardo Saucedo Girón y al M.C. Pánfilo R. Martínez Macías por sus consejos y dedicación en la revisión del presente trabajo.

## CONTENIDO

	Página
<b>CONTENIDO</b> .....	i
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	iii
<b>LISTA DE LÁMINAS</b> .....	v
<b>LISTA DE APÉNDICES</b> .....	xiii
<b>RESUMEN</b> .....	xiv
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivo .....	1
1.2 Materiales y metodología .....	2
1.3 Antecedentes .....	4
1.4 Localización y vías de acceso .....	7
1.5 Fisiografía y geomorfología .....	14
1.6 Clima y vegetación .....	14
1.7 Marco geológico regional .....	15
1.8 Descripción de campo de las brechas estudiadas .....	20
<b>2. ESTUDIO GRANULOMÉTRICO DE LAS BRECHAS CALCÁREAS</b> .....	40
2.1 Generalidades y antecedentes .....	40
2.2 Metodología .....	41
2.3 Análisis granulométrico .....	42
2.4 Interpretación del análisis granulométrico .....	70
<b>3. ANÁLISIS MICROFACIAL DE LAS BRECHAS CALCÁREAS</b> .....	73
3.1 El Xoconoxtle .....	73
3.2 Armadillo de Los Infante .....	79
3.3 San Antonio de Eguía .....	85
3.4 El Coro .....	91
3.5 Corazones .....	94
3.6 Rincón de Leijas .....	101

	Página
<b>4. MODELOS DEPOSICIONALES</b> .....	109
4.1 Generalidades .....	109
4.2 Tipos de brechas carbonatadas: origen y clasificación .....	109
4.3 Criterios de diagnóstico de los tipos de depósitos de una zona de transición plataforma-cuenca .....	110
4.4 Características generales de los depósitos del área de estudio .....	114
<b>5. RECONSTRUCCIÓN PALEOGEOGRÁFICA</b> .....	119
5.1 Tipos de taludes .....	119
5.2 Reconstrucción deposicional de las brechas estudiadas .....	120
5.3 Reconstrucción paleogeográfica de la parte central del Estado de S.L.P .....	122
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	125
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	128
<b>APÉNDICES</b> .....	136

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Mapa de localización del área de estudio en el Estado de San Luis Potosí .....	11
2 Mapa de localización y vías de acceso a las estaciones de trabajo .....	12
3 Localización del área de estudio y estaciones de trabajo dentro de las Provincias Fisiográficas .....	13
4 Localización de las estaciones de trabajo dentro de la zona de transición "plataforma-cuenca" .....	17
5 Localización de las estaciones de trabajo dentro de los límites de la Plataforma Valles - San Luis Potosí durante el Cretácico .....	18
6 Mapa geológico del área de estudio .....	19
7 Análisis granulométrico del afloramiento Xoco01base .....	49
8 Análisis granulométrico del afloramiento Xoco01cima .....	50
9 Análisis granulométrico del afloramiento Xoco02 .....	51
10 Análisis granulométrico del afloramiento Xoco03 .....	52
11 Análisis granulométrico del afloramiento Armadillo01 .....	53
12 Análisis granulométrico del afloramiento Eguía01 .....	54
13 Análisis granulométrico del afloramiento Eguía02 .....	55
14 Análisis granulométrico del afloramiento Coro01media .....	56
15 Análisis granulométrico del afloramiento Coro01cima .....	57
16 Análisis granulométrico del afloramiento Corazones01base .....	58
17 Análisis granulométrico del afloramiento Corazones01media .....	59
18 Análisis granulométrico del afloramiento Corazones01cima .....	60
19 Análisis granulométrico del afloramiento Corazones02base .....	61

	Página
20 Análisis granulométrico del afloramiento Corazones02media .....	62
21 Análisis granulométrico del afloramiento Corazones02cima .....	63
22 Análisis granulométrico del afloramiento LeijasMeco01base .....	64
23 Análisis granulométrico del afloramiento LeijasMeco01cima .....	65
24 Análisis granulométrico del afloramiento LeijasSC01 .....	66
25 Análisis granulométrico del afloramiento LeijasSC02base .....	67
26 Análisis granulométrico del afloramiento LeijasSC02cima .....	68
27 Análisis granulométrico del afloramiento LeijasSC03 .....	69
28 Representación esquemática de los principales procesos deposicionales y de transporte en una zona de talud y cuenca .....	116
29 Clasificación de flujos gravitacionales de sedimentos subacuáticos .....	117
30 Resumen de los movimientos submarinos en masa y flujos en masa gravitacionales .....	118
31 Modelo representativo del desarrollo del talud entre la PVSLP y la CMCM para el Mesozoico Tardío .....	123
32 Reconstrucción paleogeográfica de la zona de transición entre la Plataforma Valles San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México durante el Cretácico .....	124

## LISTA DE LÁMINAS

	Página
1 Fotografías del afloramiento El Xoconoxtle .....	21
A. Rudstone de intraclastos, extraclastos y bioclastos	
B. Fotografía donde se muestra laminación cruzada	
C. Principales componentes de la brecha	
D. Orientación de los componentes	
2 Fotografías del afloramiento El Xoconoxtle .....	22
A. Corte tridimensional del afloramiento que muestra la dirección de transporte	
B. Tipos de contactos entre los clastos	
C. Detalle del contenido de bioclastos que presenta esta brecha	
3 Fotografías del afloramiento Armadillo de Los Infante .....	24
A. Rudstone de extraclastos, bioclastos e intraclastos	
B. Gradación normal en la cima de la brecha	
C. Fotografía a detalle de los componentes de la brecha	
D. Fragmento de un rudista	
4 Fotografías del afloramiento San Antonio de Eguía .....	26
A. Brecha calcárea polimíctica	
B. Dolofloatstone-rudstone de intraclastos, bioclastos y extraclastos	
C. Arreglo de la brecha	
D. Tipos de contactos entre los componentes de la brecha	
5 Fotografías del afloramiento San Antonio de Eguía .....	27
A. Ejemplar bien preservado de un amonite	
B. Fragmentos de bioclastos	
C. Mudstone-wackestone con algunos bioclastos	

	Página
6 Fotografías del afloramiento El Coro .....	30
A. Brecha calcárea polimíctica con gradación normal en la cima	
B. Floatstone y rudstone de intraclastos, bioclastos, extraclastos y fragmentos de pedernal	
C. Parte media de la brecha El Coro	
D. Orientación de los clastos	
7 Fotografías del afloramiento El Coro .....	31
A. Tipos de contactos entre los clastos	
B. Ejemplar bien conservado de un bivalvo	
C. Extraclasto compuesto de rudstone bioclástico	
D. Extraclasto con fauna arrecifal	
8 Fotografías del afloramiento Corazones .....	33
A. Parte inferior de la brecha	
B. Parte superior de la brecha	
C. Contacto inferior de la brecha con calizas de mudstone-wackestone laminado	
D. Contacto superior de la brecha	
9 Fotografías del afloramiento Corazones .....	34
A. Floatstone de intraclastos, extraclastos, bioclastos y nódulos de pedernal	
B. Fábrica soportada en granos en la parte superior de la brecha	
C. Bioclasto de rudista	
D. Intraclasto con amonites	
10 Fotografías del afloramiento Rincón de Leijas .....	37
A. Brecha polimíctica en el Cerro La Santa Cruz	
B. Brecha calcárea en el Cerro El Meco	
C. Gradación normal en brecha Cerro La Santa Cruz	
D. Parte inferior de la brecha en Cerro La Santa Cruz	

	Página
11 Fotografías del afloramiento Rincón de Leijas .....	38
A. Contacto superior de la brecha en Cerro La Santa Cruz	
B. Contacto superior de la brecha en Cerro El Meco	
C. Floatstone en Cerro La Santa Cruz	
D. Componentes de la brecha en Cerro La Santa Cruz	
12 Fotografías del afloramiento Rincón de Leijas .....	39
A. Base del afloramiento con clastos imbricados en Cerro El Meco	
B. Fábrica tipo " <i>grain-supported</i> " de la brecha en Cerro El Meco	
C. Rudista en brecha de Cerro El Meco	
D. Fragmentos de bioclastos en la brecha de Cerro La Santa Cruz	
13 Fotomicrografías del afloramiento El Xoconoxtle .....	76
A. Rudstone de intraclastos, bioclastos, ooides y pellets	
B. Masa básica de la brecha El Xoconoxtle	
C. Wackestone de espículas y microfósiles pelágicos	
D. Mudstone de bioclastos	
E. Wackestone de bioclastos y microfósiles pelágicos	
F. Clasto con laminación milimétrica	
G. Wackestone de espículas	
H. Wackestone con microfósiles pelágicos	
14 Fotomicrografías del afloramiento El Xoconoxtle .....	77
A. Alga roja calcárea	
B. Fragmento de un alga roja	
C. Fragmento de una cyanobacteria	
D. Fragmento de una esponja calcárea	
E. Fragmento de una concha de bivalvo	
F. Detalle de un fragmento de braquiópodo	
G. Fragmento de equinodermo	
H. Tallo circular de un crinoide	

	Página
15 Fotomicrografías del afloramiento El Xoconoxtle .....	78
A. Fragmento de un orbitólino re TRABAJADO y desgastado	
B. Sección axial de un fragmento de orbitolina texana Roemer (mesorbitolina)	
C. Ejemplar de un foraminífero bentónico	
D. Detalle de los componentes menores a 2 mm de la brecha El Xoconoxtle	
E. Miliólido con paredes micritizadas en gran parte y poros rellenos de esparita	
F. Estructura lamelar-foliada en fragmento de braquiópodo	
G. Fotomicrografía de ooides	
H. Packstone de granos cubiertos, bioclastos y pellets	
16 Fotomicrografías del afloramiento Armadillo de Los Infante .....	82
A. Fotomicrografía de un rudstone	
B. Masa básica de las brechas de Armadillo de Los Infante	
C. Packstone con bioclastos y pellets	
D. Packstone-grainstone de pellets, granos cubiertos y bioclastos	
E. Wackestone-packstone con bioclastos, pellets y granos cubiertos	
F. Wackestone con bioclastos, granos cubiertos y pellets	
G. Wackestone con bioclastos y pellets	
H. Packstone de foraminíferos	
17 Fotomicrografías del afloramiento Armadillo de Los Infante .....	83
A. Packstone-grainstone de bioclastos, granos cubiertos y pseudopellets	
B. Packstone-wackestone de bioclastos cubiertos y pellets	
C. Wackestone de bioclastos	
D. Mudstone-wackestone bioclástico	
E. Mudstone de foraminíferos pelágicos	
F. Wackestone de bioclastos	
G. Mudstone con bioclastos	
H. Packstone de bioclastos, intraclastos y pellets	

	Página
18 Fotomicrografías del afloramiento Armadillo de Los Infante .....	84
A. Fragmento de esponja	
B. Estructura interna tabular de un coral	
C. Drusa de esparita	
D. Fragmento de calcita con estructura prismática	
E. Fragmento de foraminífero bentónico	
F. Foraminífero planctónico	
G. Espículas de esponjas	
H. Granos agregados	
19 Fotomicrografías del afloramiento San Antonio de Eguía .....	88
A. Dolofloatstone de intraclastos, bioclastos, extraclastos, ooides, pellets y granos cubiertos	
B. Contactos estilolíticos	
C. Matriz de la brecha	
D. Dolomitización incipiente afectando únicamente la matriz original	
E. Wackestone con calcíferas, pellets y bioclastos	
F. Mudstone con radiolarios	
G. Wackestone a packstone de calcíferas y pellets	
H. Wackestone con bioclastos y pellets	
20 Fotomicrografías del afloramiento San Antonio de Eguía .....	89
A. Mudstone con bioclastos	
B. Intercalación de wackestone y packstone con pellets y calcíferas	
C. Grainstone de bioclastos cubiertos y pellets	
D. Packstone de pellets y bioclastos cubiertos	
E. Grainstone de bioclastos cubiertos, pellets y ooides	
F. Burrows con pellets y granos micritizados	
G. Fragmento de esponja calcárea	
H. Bioclasto con estructura interna radial simétrica	

21	Fotomicrografías del afloramiento San Antonio de Eguía .....	90
	A. Fragmentos de bivalvos	
	B. Fragmentos de moluscos	
	C. Espinas de equinodermo en sección transversal y oblicua	
	D. Fragmento asociado a amonites	
	E. Foraminíferos planctónicos y calcíferas	
	F. Foraminífero bentónico	
	G. Fotomicrografía de un ooide	
	H. Fotomicrografía de pequeños nódulos de pedernal	
22	Fotomicrografías del afloramiento El Coro .....	93
	A. Dolofloatstone de bioclastos e intraclastos o extraclastos	
	B. Textura fibrosa gruesa de calcedonia	
	C. Dolomitización epigenética selectiva	
23	Fotomicrografías del afloramiento Corazones .....	98
	A. Fotomicrografía general	
	B. Fábrica dolomitizada	
	C. Mudstone a wackestone con microfósiles pelágicos	
	D. Mudstone a wackestone con microfósiles pelágicos	
	E. Wackestone de bioclastos	
	F. Wackestone con microfósiles planctónicos y bioclastos	
	G. Sección transversal de amonite	
	H. Wackestone con bioclastos y nódulos de pedernal	
24	Fotomicrografías del afloramiento Corazones .....	99
	A. Wackestone de bioclastos	
	B. Packstone laminado de pellets y bioclastos	
	C. Wackestone con ooides y granos cubiertos	
	D. Wackestone de bioclastos, granos micritizados y ooides	
	E. Packstone de pellets y bioclastos	
	F. Grainstone de pellets y bioclastos cubiertos	
	G. Grainstone con ooides concéntricos y bioclastos	
	H. Packstone laminado de pellets y calcíferas	

	Página
25 Fotomicrografías del afloramiento Corazones .....	100
A. Sección transversal de fragmento de cefalópodo	
B. Microestructura de un bivalvo	
C. Fragmentos de bivalvos	
D. Fragmento de equinodermo	
E. Fragmento de alga roja	
F. Orbitolínido	
G. Ooides alóctonos	
H. Granos agregados	
26 Fotomicrografías del afloramiento Rincón de Leijas .....	106
A. Rudstone de intraclastos, extraclastos y bioclastos	
B. Dolomitización reemplazando a la matriz original	
C. Wackestone de bioclastos y pellets	
D. Wackestone de bioclastos	
E. Clasto con laminación milimétrica	
F. Clasto con alternancia rítmica de láminas milimétricas	
G. Packstone-grainstone de pseudopellets y bioclastos	
H. Fragmento de molusco	
27 Microfotografías del afloramiento Rincón de Leijas .....	107
A. Fragmento de rudista	
B. Bioclasto de equinodermo	
C. Caparazón de orbitolínido	
D. Masa básica esparítica	
E. Floatstone a rudstone de extraclastos, intraclastos y bioclastos	
F. Masa básica	
G. Contactos estilolíticos	
H. Fragmentos "fantasmas" de equinodermos	

28	Fotomicrografías del afloramiento Rincón de Leijas .....	108
	A. Wackestone de bioclastos	
	B. Mudstone-wackestone pelágico	
	C. Clasto con laminación milimétrica	
	D. Grainstone de bioclastos cubiertos	
	E. Equinodermos	
	F. Briozooario	
	G. Fragmento de rudista	
	H. Coexistencia de foraminíferos planctónicos y bentónicos	

## APÉNDICES

	Página
1 Escala de tamaño de grano según Wentworth y Udden .....	137
2 Las cuatro clases de forma de grano basado en las proporciones de los diámetros .....	137
3 Tabla de comparación de redondez y esfericidad de los granos .....	138
4 Descripción de los tipos de contactos entre granos .....	138
5 Escala de tamaño de grano de Wenworth-Udden y tamaño de grano basado en términos usados para diferenciar rocas carbonatadas .....	139
6 Parámetros estadísticos del tamaño de grano según Folk y Ward .....	140
7 Clasificación de carbonatos según Dunham .....	141
8 Clasificación de las rocas carbonatadas según Folk .....	142
9 Diagrama para la clasificación de Facies y Microfacies propuesto por Wilson .....	143

## RESUMEN

Se realizó un estudio granulométrico y microfacial de los depósitos de brechas calcáreas característicos de una zona de transición plataforma-cuenca para determinar sus mecanismos de depositación, así como el origen de sus componentes y ambiente de depósito. Estos depósitos se localizan en la porción central del Estado de San Luis Potosí, los cuales por su litología y génesis ha sido reconocida como Formación Tamabra.

Los afloramientos estudiados se localizan de sur a norte en las cercanías de El Xoconoxtle y Armadillo de Los Infante (Sierra de Álvarez), San Antonio de Eguía (Sierra de San Pedro), El Coro, Corazones y Rincón de Leijas (parte alta, flanco occidental y límite norte de la Sierra El Coro, respectivamente).

Las características sedimentológicas que presentan estas brechas son: contactos inferiores planos con ligeras evidencias de erosión, contactos superiores transicionales, espesores desde 0.5 hasta 14 m, afloran lenticularmente, masivas, y algunos afloramientos presentan gradación normal en la cima, polilitológicas, componentes  $>2$  mm a bloques  $<1$  m, de forma tabular, angulosos a subredondeados, con baja esfericidad o redondeados con alta esfericidad, sorteamiento pobre a moderado, de arreglo caótico con una ligera imbricación y orientación W-NW, en una masa básica micrítica, esparítica y en ocasiones arcillosa.

El análisis granulométrico realizado en las brechas calcáreas del área de estudio, mostró de manera general, distribuciones de tamaño de grano bimodales y poli-modales, con desviaciones estándar ( $\sigma$ ) de 1.24 a 2.78  $\phi$ , con un grado de selección de los depósitos de un pobre a muy pobre sorteamiento, a excepción de la brecha de la localidad de Armadillo de Los Infante, la cual mostró un grado de selección moderado ( $\sigma=1.0 \phi$ ). El diámetro medio de los clastos ( $M_d$ ) que predominó en las brechas va de -2.55 hasta -7.79  $\phi$ , es decir, abarcando componentes del tamaño de guijarros finos hasta cantos y/o guijas grandes. Los valores de skewness fueron en su mayoría positivos lo que indica una clara tendencia al material fino. La kurtosis de mesocúrtica a platicúrtica, refleja una distribución del tamaño de grano de media a alta y una pobre selección de las brechas.

Estas brechas calcáreas tienen una textura de floatstone-rudstone de intraclastos, bioclastos y extraclastos, ooides, granos cubiertos y pellets; dentro de las cuales se diferencian dos tipos de sedimentación: el primer tipo está representado por clastos tabulares angulosos que varían en composición desde wackestone con espículas a mudstone-wackestone con fauna pelágica y laminación milimétrica (SMF 1, 2 y 3), indicando una sedimentación lenta autóctona depositada en ambientes de aguas profundas característica de zonas de facies de cuenca, plataforma de mar abierto e incluso pie de talud (FZ 1 a 3) y el segundo tipo está representado por clastos subredondeados y material de origen alóctono, transportados por procesos gravitacionales y de suspensión desde el margen de la plataforma y zonas post-arrecifales (FZ 5 a 7), sobresaliendo bioclastos (algas, esponjas, corales, rudistas y braquiópodos), foraminíferos (orbitolínidos y miliólidos) y extraclastos (p.e. packstone de granos cubiertos, bioclastos y pellets: SMF 11; grainstone de ooides: SMF 15; grainstone-packstone con abundantes foraminíferos bentónicos: SMF 18).

Las características litológicas, morfológicas, texturales y granulométricas de las brechas, indican que hacia la zona de transición entre la Plataforma Valles-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México prevaleció la existencia de un margen abrupto de tipo "by-pass", evidenciado por la coexistencia de componentes de origen autóctono y alóctono indicando que la formación y origen de las brechas estudiadas se debió al aporte de material desde zonas post-arrecifales a través de canales y/o colapsos de zonas inestables del margen de la plataforma debido a la progradación del frente arrecifal o actividad sísmica, originando el desprendimiento de grandes bloques de roca que fueron transportados y canalizados a lo largo del talud, dando lugar a depósitos de caída de rocas, flujos de escombros y flujos de granos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los depósitos característicos de secuencias alóctonas que se encuentran en una zona de transición "plataforma-cuenca" sobresalen los depósitos dominados por procesos gravitacionales y de suspensión, representados por movimientos en masa y por depósitos de turbidez. Estos depósitos son también representativos en las zonas transicionales alrededor de la Plataforma cretácica Valles-San Luis Potosí (PVSLP). En esta área dominan los depósitos gravitacionales en forma de brechas (flujos de escombros) y muestran importantes variaciones morfológicas, granulométricas y texturales, las cuales parecen ser que son controladas principalmente por cambios litológicos graduales. Estos depósitos de talud de la PVSLP representados por la Formación Tamabra, han sido originalmente estudiados y definidos en el subsuelo del campo petrolero de Poza Rica y La Faja de Oro por numerosos autores entre los que destacan Heim (1940), Barnetche e Iling (1956), Carrillo-Bravo (1971), Enos (1974 y 1977), Aguayo-Camargo (1975) y Carrasco-V. (1977). Sin embargo, existen pocos estudios realizados en los depósitos de talud del margen occidental de la PVSLP, a excepción de trabajos realizados por López-Doncel (2000a, 2000b, 2000c, 2002, 2003), López-Doncel y Tapia-Uresti (2001), Tapia-Uresti (2003), López-Doncel y Rodríguez-Hernández (2004), Cruz-Márquez (2005) y Rodríguez-Hernández *et al.* (2005), de ahí la importancia de su estudio para contribuir al conocimiento de esta zona de transición.

### 1.1 Objetivo

El objetivo principal del presente estudio es el de contribuir al conocimiento acerca de los tipos de depósitos de talud así como de identificar y describir los mecanismos de depositación de estos, en particular de las brechas calcáreas que afloran en una zona de transición "plataforma-cuenca", por lo cual se pretende realizar un análisis granulométrico de las brechas calcáreas aunado a un estudio microfacial y sedimentológico para determinar el origen de sus componentes (zonas de facies), mecanismo de transporte y ambiente de depositación. Con las descripciones litológicas, morfológicas, texturales, microfaciales y granulométricas (estas últimas

con ayuda de imágenes digitales y análisis estadísticos), de los diferentes depósitos que afloran en el área de estudio se podrá establecer un modelo deposicional y reconstruir la paleogeografía entre la Plataforma Valles-San Luis Potosí (PVSLP) y la Cuenca Mesozoica del Centro de México (CMCM) en la porción central del Estado de San Luis Potosí durante el Mesozoico Tardío.

## **1.2 Materiales y metodología**

### **a) Materiales**

Para la elaboración de este trabajo se utilizaron las cartas topográficas a escala 1:50,000: de Santa Catarina (F14-A85), San Luis Potosí (F14-A84), Villa Hidalgo (F14-A74) y Villa de Arista (F14-A64) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). El material utilizado en el trabajo de campo consistió de un GPS Garmin 12 XL, brújula Brunton, martillos, cámaras digitales de las marcas Sony DSC-P92 (5.0 Mega Píxeles), Sony DSC-F717 (5.0 Mega Píxeles) y una cámara digital tipo Reflex Canon EOS Rebel Digital (6.0 Mega Píxeles), además del uso de escalas gráficas como flexómetros y reglas. Para la elaboración de láminas delgadas se utilizaron cortadoras y pulidoras de la marca Hillquist, así como abrasivos del No. 400, 600 y 800. Para la descripción petrográfica de las muestras se utilizó el microscopio de luz polarizada Nikon modelo Optiphot2-pol. Para el trabajo de gabinete se utilizaron los Conjuntos de Datos Vectoriales e Imágenes de Satélite (INEGI), escáner Epson Perfection 1250, así como una computadora tipo Lap-Top modelo Toshiba Satellite.

### **b) Metodología**

Gabinete (etapa preliminar)

Esta etapa básicamente consistió en la investigación y recopilación documental acerca de los trabajos realizados en los márgenes de la PVSLP, entre los que destacan los del Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y Trabajos Recepcionales de la Facultad de Ingeniería de la misma Universidad, Petróleos Mexicanos (PEMEX), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e In-

formática (INEGI) así como resúmenes, resúmenes en extenso y artículos en revistas especializadas (Bibliografía).

#### Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en la localización de los afloramientos de brechas calcáreas, posicionándolos con GPS en la cuadrícula WGS-84. Se realizó la descripción de sus características litológicas, morfológicas, granulométricas y texturales, así como toma de datos estructurales y muestras de roca. Posteriormente con el uso de cámaras digitales se tomaron fotos de los afloramientos, siempre referenciadas a una escala real (flexómetro), realizando varias pruebas para evitar la menor deformación posible de las mismas.

#### Trabajo de laboratorio

Esta etapa consistió en la preparación de láminas delgadas de las muestras recolectadas en campo para su descripción petrográfica y microfacial, las cuales se elaboraron en el Laboratorio de Preparación de Muestras del Instituto de Geología con ayuda de la cortadora de disco de diamante de 8" marca Hillquist, se pulieron en discos con ayuda de abrasivos del No. 400 y 600 en la máquina pulidora de la misma marca para después pulirlas con el abrasivo No. 800 en el vidrio. Las muestras fueron pegadas en porta-objetos petrográficos utilizando una mezcla de resinas epóxicas dejándolas secar por tres días. Posteriormente fueron cortadas a un espesor no mayor de 2 mm y desvastadas para nuevamente darles un terminado en el vidrio con el abrasivo No. 800. Una vez terminadas las láminas delgadas, la descripción petrográfica fue realizada en el Laboratorio de Petrografía del Instituto de Geología utilizando un microscopio de luz polarizada marca Nikon modelo Optiphot2-pol, en el cual se identificó la textura y litología de las muestras para ser clasificadas según las tablas para rocas carbonatadas de Folk (1959 y 1962) y Dunham (1962), y así determinar el ambiente de depósito según el modelo de facies de Wilson (1975).

### Gabinete (etapa final)

En la etapa de trabajo de gabinete en lo que respecta al análisis granulométrico se procedió a editar las fotografías digitales mediante el uso de un software profesional para manejo y edición, en el cual se ajusto el contraste y brillo de las imágenes para resaltar los componentes de la matriz, así como el cortado de sus bordes para reducir la deformación. Las imágenes digitales fueron procesadas con un programa CAD para análisis de gráficos, en donde se realizaron cálculos para insertarlas en una escala 1:1 en centímetros para referenciarlas con la escala gráfica de la foto real. A continuación se delimitaron los componentes mayores a 4 mm y menor a esta fracción se tomo como matriz, la cual es medida también con ayuda de imágenes digitales tomadas con microscopio petrográfico sobre láminas delgadas. Posterior a esto, los componentes fueron medidos en sus ejes mayores así como también su área y capturados en una hoja de cálculo en Excel según las escalas de Wentworth y Udden (Apéndice 1) (mm y unidades  $\phi$  respectivamente). La sumatoria de las áreas correspondientes a cada Phi ( $\phi$ ) dio como resultado el área total de los componentes a la cual se le restó el área delimitada del afloramiento en la foto para obtener así el porcentaje de matriz. Los porcentajes obtenidos fueron procesados con el programa de aplicación gráfica y estadística Kware SFT el cual calculó los parámetros estadísticos según Folk, para finalmente interpretar los datos obtenidos.

La parte final de esta etapa estuvo enfocada a la elaboración de mapas, figuras y diagramas en el programa CorelDRAW 11, así como la redacción e interpretación de las observaciones y resultados obtenidos en forma de tesis.

### 1.3 Antecedentes

Los depósitos de una zona de transición "plataforma-cuenca" han sido ampliamente estudiados y definidos en la PVSLP principalmente en su margen oriental en el Campo Petrolero de Poza Rica (CPPR) y La Faja de Oro, por numerosos autores. Uno de los primeros fue Heim (1940), quien define con el nombre de Formación Tamabra a la interdigitación de sedimentos carbonatados de aguas profundas de la Formación Tamaulipas con sedimentos de aguas someras de la Caliza El Abra.

Posteriormente Barnetche e Illing (1956), describen la litología de la Formación Tamabra en dos partes: Tamabra Inferior compuesta de brechas fuertemente dolomitizadas con bioclastos y Tamabra Superior compuesta de calizas y dolomías con fragmentos de rudistas. Años más tarde, Carrillo-Bravo (1971), mediante trabajos de geología superficial designa con el nombre de Plataforma Valles-San Luis Potosí a un elemento paleogeográfico de edad Mesozoica desarrollado en la porción centro-nororiental de México. Enos (1974 y 1977), estudia la Formación Tamabra en el CPPR diferenciando principalmente cinco litologías: (1) grainstone y packstone de bioclastos, (2) wackestone de rudistas, (3) wackestone con microfósiles pelágicos, (4) brecha con fragmentos de grainstone y packstone con bioclastos y wackestone con fauna pelágica y (5) dolomías, representadas por depósitos de flujos de escombros (*debris flow*). Al mismo tiempo Carrasco-V. (1977), describía el tipo de sedimentación y procesos durante el Albiano en el borde oriental de la PVSLP en las localidades de Río Guayalejo, Xilitla y Metztlán, caracterizada por la presencia de sedimentos carbonatados de aguas someras con rudistas (Formación El Abra), depósitos de flujos de escombros y bloques exóticos de origen alóctono (Formación Tamabra) y sedimentos autóctonos de aguas profundas con microfauna pelágica (Formación Tamaulipas).

Existen además diversos trabajos publicados acerca de la PVSLP, por Aguayo-Camargo (1975 y 1978), Guel-Díaz de León (1985), Minero (1988), Wilson (1987 y 1990), Basáñez-Loyola *et al.* (1993), entre otros.

Carrillo-Bravo (1982), realizó para Petróleos Mexicanos una exploración sistemática llevada a cabo desde mediados de los 60s, define con el nombre de Cuenca Mesozoica del Centro de México a una columna sedimentaria marina de más de 5000 m de espesor.

En comparación con el margen oriental, existen pocos estudios realizados en los depósitos de talud del margen occidental de la PVSLP; sin embargo, se han realizado algunos a nivel regional entre los que destacan trabajos hechos por Cserna y Bello (1963), quién describe la geología de la parte central de la Sierra de Álvarez, donde reporta capas de brechas de caliza en la Unidad C de la Formación El Doctor en una sección medida al NW de La Calera. Así como trabajos de Cartografía

Geológica realizados por el Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en las Hojas "Villa de Arista" (Zarate-Muñoz, 1977); "Villa Hidalgo" (Aranda-Gómez y Labarthe-Hernández, 1977; Barboza-Gudiño *et al.*, 2002); "San Luis Potosí" (Labarthe-Hernández y Tristán-González, 1978; Tristán-González *et al.*, 2002) y "Santa Catarina" (Garza-Blanc, 1978).

En los últimos años se han elaborado estudios a mayor detalle, en donde destacan estudios sedimentológicos y faciales en varias localidades a lo largo de una franja de 5 a 10 km de espesor con rumbo NNW-SSE entre la PVSLP y la CMCM, en secuencias sedimentarias que de acuerdo al modelo de facies de Wilson (1975), representan depósitos de zonas de cuenca, pie de talud y talud (López-Doncel, 2000 a, b y c), caracterizadas por la presencia de depósitos de flujos de escombros (*debris flow*), depósitos de turbiditas y depósitos de pliegues sinsedimentarios (*slumps*) descritos por López-Doncel y Tapia-Uresti (2001).

Más tarde, López-Doncel (2003), realiza estudios litológicos-faciales identificando una serie de secuencias autóctonas de mudstone-wackestone con fauna pelágica de ambientes de aguas profundas, intercalados con sedimentos alóctonos de packstone-grainstone hasta rudstone de bioclastos y litoclastos de aguas someras, las cuales comparó en edad y génesis con la Formación Tamabra del margen oriental de la PVSLP. En ese mismo año, Tapia-Uresti (2003), caracteriza la dinámica y tipo de sedimentación de los depósitos en una zona de transición plataforma-cuenca mediante estudios faciales y análisis de estructuras sedimentarias en los perfiles "La Paloma", "Rincón de Leijas" y "El Meco" en el Municipio de Villa de Arista, S. L. P. Posteriormente, Cruz-Márquez (2005), describe la secuencia calcáreo-arcillosa que aflora en la Sierra del Meco (Villa de Arista, S. L. P.), que de acuerdo al tipo de depósito, litología y caracterización facial representa la facies arcillosa de la Formación Tamabra (miembro superior). En base a los tipos de depósitos tanto autóctonos como alóctonos característicos de esta zona, se ha sugerido el desarrollo de un margen abrupto (probablemente tipo "by-pass") entre la Plataforma Valles-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México, como consecuencia de una alta tasa de sedimentación en el margen de la plataforma (López-Doncel, 2003). En las secuencias alóctonas de esta zona, los de-

pósitos gravitativos en forma de brechas (flujos de escombros) dominan y muestran importantes variaciones morfológicas, granulométricas y texturales que parecen ser controladas principalmente por cambios litológicos graduales (López-Doncel y Rodríguez-Hernández, 2004).

#### **1.4 Localización y vías de acceso**

El área de estudio se encuentra ubicada en la porción central del Estado de San Luis Potosí a lo largo de la zona de transición entre los elementos paleogeográficos Plataforma Valles-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México, y en ella se ubicaron principalmente seis estaciones de trabajo (Figura 1), las cuales están localizadas de sur a norte en las cercanías de los poblados de El Xoconoxtle y Armadillo de los Infante (Sierra de Álvarez), San Antonio de Eguía (Sierra de San Pedro), El Coro y Corazones (parte alta y flanco occidental de la Sierra El Coro, respectivamente) y Rincón de Leijas (en el límite norte de la Sierra El Coro).

A continuación se describe a detalle la localización y vías de acceso a cada una de las estaciones de trabajo:

##### **a) Localización**

###### **Estación Xoconoxtle**

Estos afloramientos están localizados en las coordenadas UTM 326147 E-2244259 N, en el flanco oeste de la Sierra de Álvarez a aproximadamente 3 km al SE de la localidad del Xoconoxtle en el extremo SE de la Hoja San Luis Potosí (F14-A84).

###### **Estación Armadillo**

Estos afloramientos se localizan en las coordenadas UTM 328694 E-2461130 N, hacia la parte norte de la cabecera municipal de Armadillo de Los Infante dentro de la Hoja Santa Catarina (F14-A85).

#### Estación San Antonio de Eguía

Esta estación de trabajo se localiza en las coordenadas UTM 321326 E-2462651 N, en la Sierra de San Pedro, entre los poblados de San Antonio de Eguía y Jesús María en la parte sureste de la Hoja Villa Hidalgo (F14-A74).

#### Estación El Coro

Estos afloramientos están localizados en las coordenadas UTM 317676 E-2487222 N, en la parte alta de la Sierra El Coro a aproximadamente 10 km al noroeste de la cabecera municipal de Villa Hidalgo en la Hoja del mismo nombre (F14-A74).

#### Estación Corazones

Los afloramientos descritos en esta estación están ubicados en las coordenadas UTM 313222 E-2486533 N, en la parte oeste de la Sierra El Coro, a aproximadamente 5 km al este del poblado de Corazones, esta localidad está ubicada en la parte oeste de la cabecera municipal de Villa Hidalgo dentro de la Hoja del mismo nombre (F14-A74).

#### Estación Rincón de Leijas

Los afloramientos descritos en esta área están localizados en las coordenadas UTM 311395 E-2494591 N y 312811 E-2495735 N, hacia la parte SE-E del poblado de Rincón de Leijas el cual está a aproximadamente 10 km al sur de la cabecera municipal de Villa de Arista, S. L. P., en la Hoja Villa de Arista (F14-A64).

### **b) Vías de acceso**

#### Estación Xoconoxtle

Partiendo de la capital del Estado, se toma la Carretera Federal 70, tramo San Luis Potosí-Río Verde hasta llegar al poblado del Xoconoxtle el cual se localiza en el km 23 aproximadamente (Figura 2).

#### Estación Armadillo

Partiendo de la ciudad de San Luis Potosí, se toma la Carretera Federal 70, con rumbo al Municipio de Ríoverde llegando hasta el entronque a Armadillo de los Infante ubicado en el km 40 aproximadamente, el cual comunica las localidades de Xoconoxtle, San José de Gómez y San José de Magaña hasta la cabecera municipal de Armadillo de los Infante (Figura 2).

#### Estación San Antonio de Eguía

Partiendo de la Ciudad de San Luis Potosí, se toma la Autopista Federal 57, tramo San Luis Potosí-El Huizache llegando hasta el entronque localizado en el km 24+500 aproximadamente que conduce a la localidad de El Valle de las Palomas, en donde se toma el camino de terracería que comunica a los poblados de San Antonio de Eguía y Jesús María (Figura 2).

#### Estación El Coro

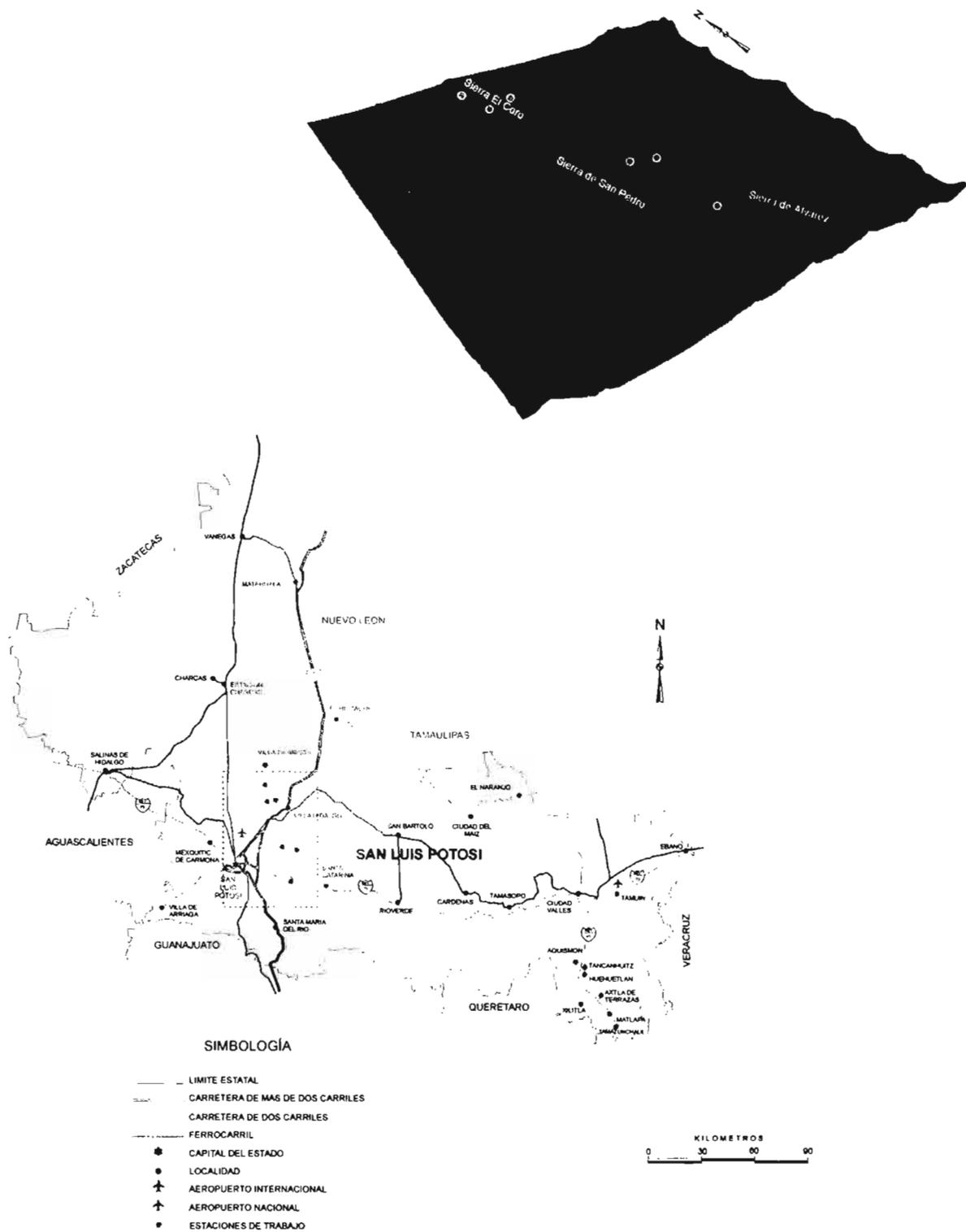
Partiendo de la Ciudad de San Luis Potosí, se toma la Autopista Federal 57, tramo San Luis Potosí-El Huizache hasta llegar al entronque ubicado en el km 31+250 aproximadamente, que comunica al poblado de Ventura, Mpio. de Villa Hidalgo, en donde se toma el camino de terracería que llega hasta la ranchería de El Coro (Figura 2).

#### Estación Corazones

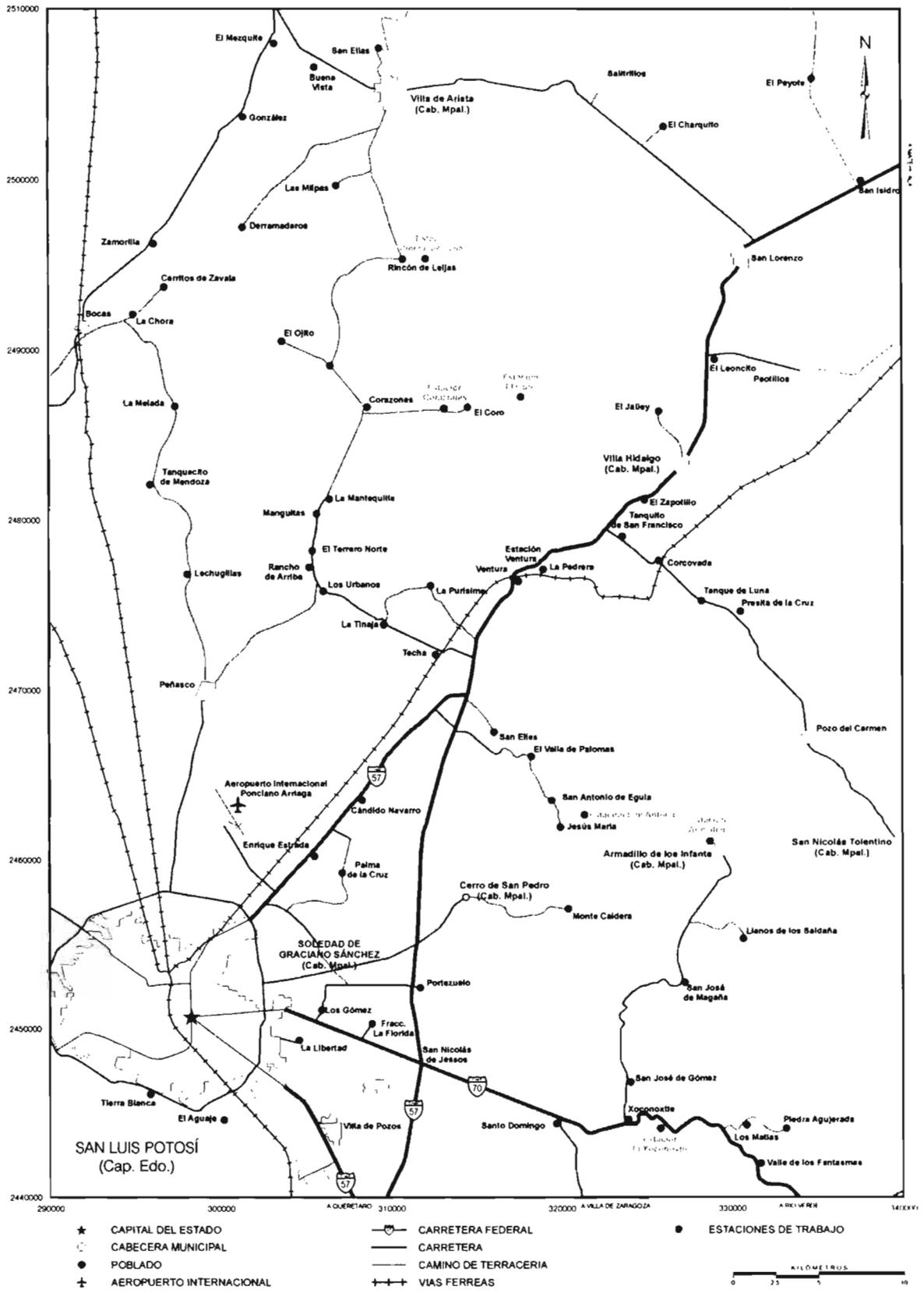
Partiendo de la capital del Estado, se toma la Autopista Federal 57, tramo San Luis Potosí-El Huizache llegando hasta el entronque ubicado en el km 29, que comunica a los poblados de Estación Techa, La Tinaja, Los Urbanos, Rancho Arriba, El Terrero Norte, Las Manguitas y La Mantequilla hasta llegar a la localidad de Corazones de donde se toma hacia el Este la brecha que conduce a El Coro paralela al Arroyo Grande (Figura 2).

### Estación Rincón de Leijas

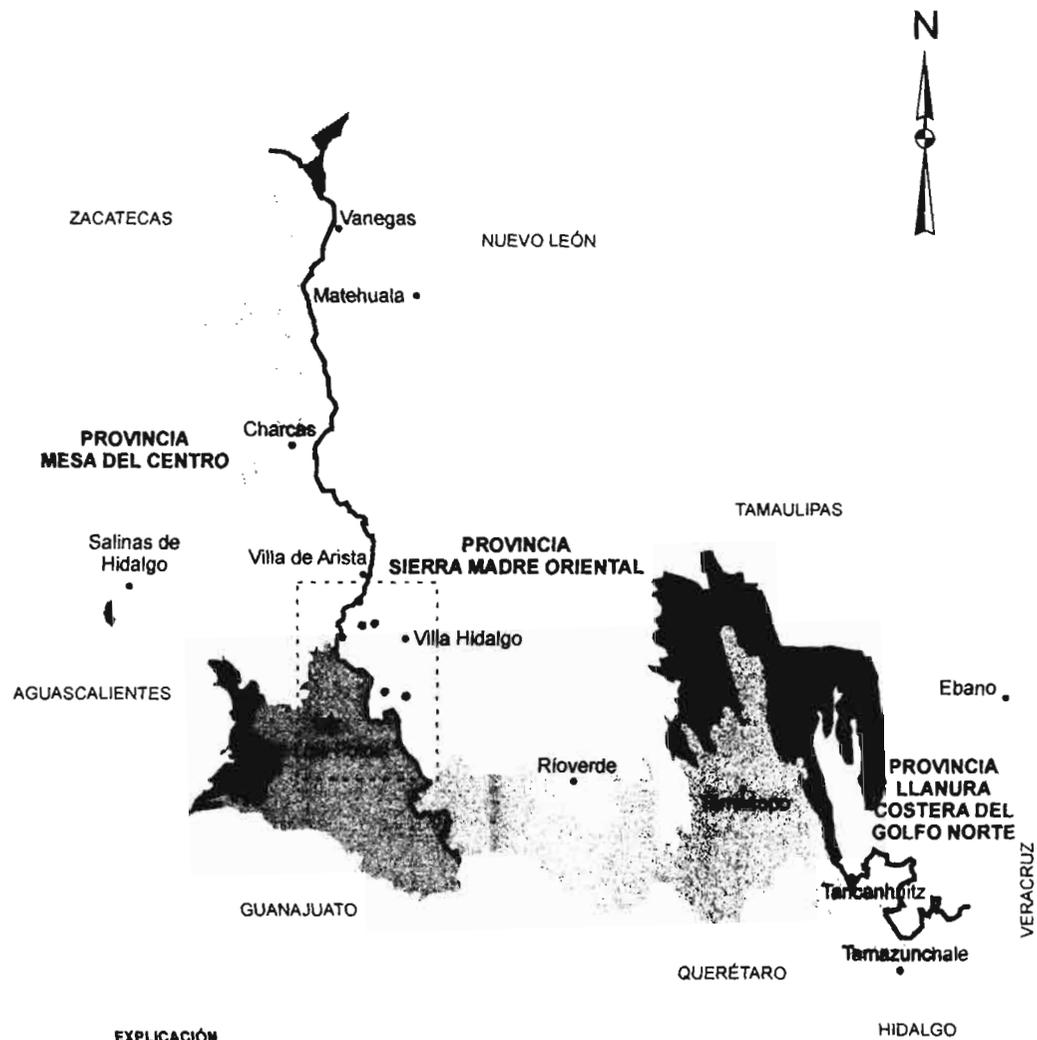
Partiendo de la Ciudad de San Luis Potosí, se toma la Autopista Federal 57, tramo San Luis Potosí-El Huizache llegando hasta el entronque a Villa de Arista ubicado en el km 64, ya en la cabecera municipal se toma la desviación hacia el sur que conduce al poblado de Rincón de Leijas (Figura 2).



**Figura 1.** Mapa de localización del área de estudio, mostrando en la parte superior las estaciones de trabajo en el Estado de San Luis Potosí (modificado de INEGI, 2002).



**Figura 2.** Mapa de localización y vías de acceso a las estaciones de trabajo (modificado de la Carta Topográfica 1:250,000 de San Luis Potosí F14-4).



**EXPLICACIÓN**

- Provincia Sierra Madre Oriental
- SUBPROVINCIA SIERRAS TRANSVERSALES
- SUBPROVINCIA GRAN SIERRA PLEGADA
- SUBPROVINCIA SIERRAS Y LLANURAS OCCIDENTALES
- SUBPROVINCIA CARSO HUASTECO
- Provincia Llanura Costera del Golfo Norte
- SUBPROVINCIA LLANURAS Y LOMERÍOS
- Provincia Mesa del Centro
- SUBPROVINCIA SIERRAS Y LOMERÍOS DE ALDAMA Y RÍO GRANDE
- SUBPROVINCIA LLANURAS Y SIERRAS POTOSINO-ZACATECANAS
- SUBPROVINCIA LLANURAS DE OJUELOS-AGUASCALIENTES
- SUBPROVINCIA SIERRAS Y LLANURAS DEL NORTE DE GUANAJUATO
- LÍMITE DE PROVINCIA
- ÁREA DE ESTUDIO
- ESTACIONES DE TRABAJO



**Figura 3.** Localización del área de estudio y estaciones de trabajo dentro de las Provincias Fisiográficas Mesa del Centro y Sierra Madre Oriental (modificado de INEGI, 2002).

### **1.5 Fisiografía y geomorfología**

El área de estudio se encuentra en el límite de dos provincias fisiográficas, hacia la parte noroccidental la Provincia de la Mesa del Centro y hacia la parte nororiental la Provincia de la Sierra Madre Oriental (Figura 3), las cuales comprenden las Subprovincias de Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato y Sierras Occidentales respectivamente (INEGI, 2002).

Las estaciones de trabajo están comprendidas dentro de las Sierras de Álvarez, San Pedro y El Coro, las cuales están constituidas por una secuencia de rocas sedimentarias del Cretácico fuertemente plegadas, siendo la orientación general de sus ejes NW-SE.

El relieve de estas sierras varía desde los 1600 m.s.n.m. en las proximidades del poblado de Rincón de Leijas hasta alturas alrededor de 2400 m.s.n.m. al este del poblado de Jesús María. Las sierras mencionadas presentan un estado de madurez temprana dentro del ciclo geomorfológico, dando como resultado formas topográficas suaves hasta ligeramente abruptas. Rasgos kársticos se presentan localmente, limitándose a unas cuantas dolinas cerca de San Antonio de Eguía y algunas cavernas/dolinas de disolución aisladas hacia la Sierra de Álvarez y Sierra El Coro, donde la precipitación es mayor y la vegetación más abundante comparada con las partes más bajas del área de estudio.

El drenaje es del tipo arborescente o dendrítico y de carácter intermitente, desaguando una parte de la Sierra de San Pedro y flancos occidentales de la Sierra de Álvarez y El Coro hacia las cuencas endorreicas del Valle de San Luis Potosí y Villa de Arista.

### **1.6 Clima y vegetación**

En el área de estudio predominan principalmente dos tipos de climas: el primero de Tipo Seco (Subtipo Seco Templado) con una temperatura media anual que oscila entre 12° a 18°C con lluvias en verano y una precipitación total anual de 300 a 400 mm hacia el Valle de San Luis Potosí y Sierra El Coro; el segundo de Tipo Semiseco (Subtipo Semiseco Templado) con una temperatura media anual entre 14° a 16°C con lluvias en verano y una precipitación total anual de 400 a 500 mm

hacia el flanco oriental de la Sierra de San Pedro y al norte de Sierra de Álvarez (INEGI, 2002).

La vegetación es típica de los Climas Secos-Semisecos Templados, destacando hacia las partes bajas del área de estudio el Pastizal (natural), Chaparral, Matorrales (desértico rosetófilo, desértico micrófilo y cracicaule) y hacia las partes altas (Sierra de Álvarez y El Coro) domina el Bosque de Encino-Pino (INEGI, 2002).

### **1.7 Marco geológico regional**

El área de estudio se localiza en la porción central del Estado de San Luis Potosí en la zona de transición entre dos grandes unidades paleogeográficas mesozoicas, denominadas Plataforma Valles-San Luis Potosí y Cuenca Mesozoica del Centro de México (Carrillo-Bravo, 1971 y 1982) (Figura 4).

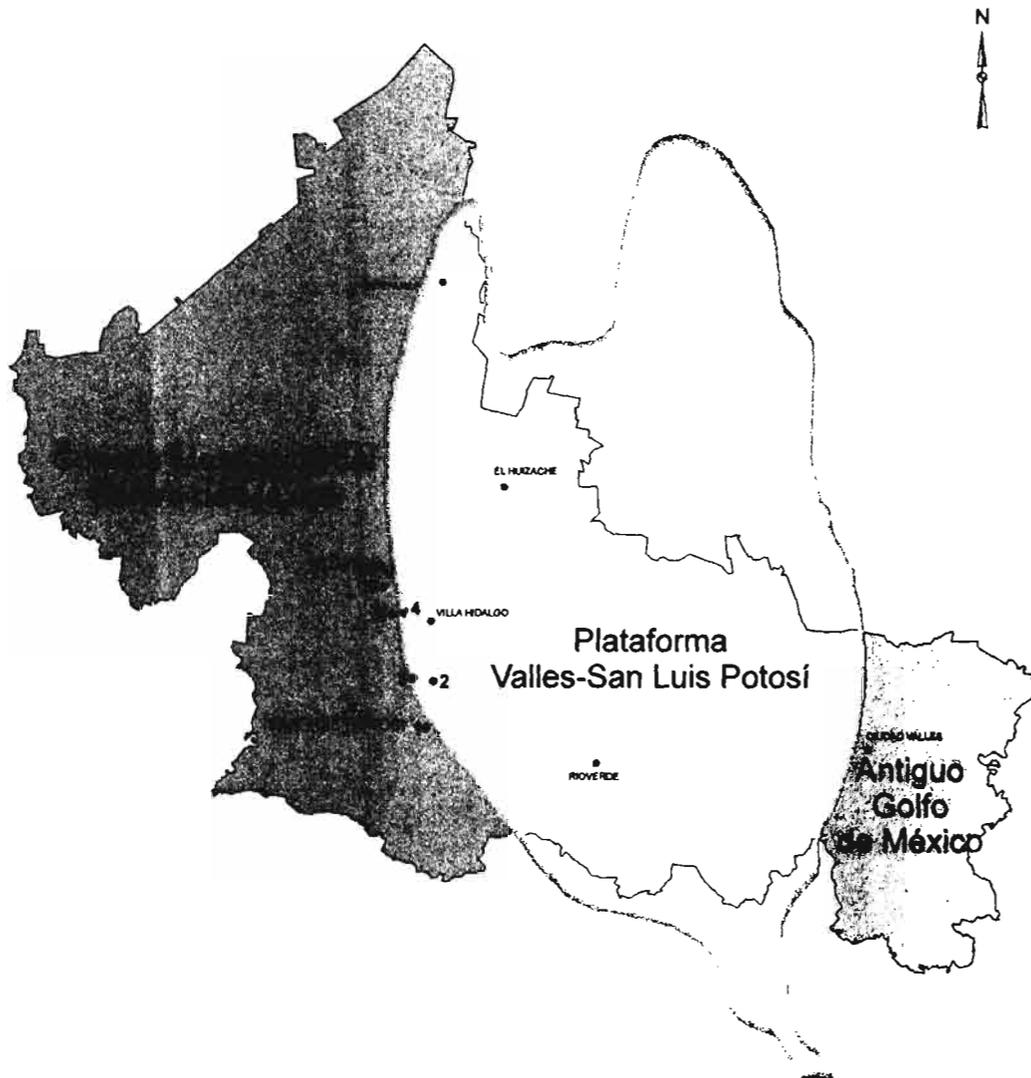
La Plataforma Valles-San Luis Potosí comprende un elemento paleogeográfico positivo, constituido por rocas triásicas?, plegadas y falladas, sobre el cual se depositó una secuencia sedimentaria marina mesozoica durante el Jurásico Tardío y secuencias de rocas evaporíticas y calizas de tipo arrecifal del Cretácico, alcanzando su máximo desarrollo o progradación durante el Albiano-Cenomaniano desarrollando un margen de plataforma con borde; sin embargo a partir de este tiempo la plataforma presenta una agradación (Carrillo-Bravo, 1971; Basáñez-Loyola *et al.*, 1993) (Figura 5).

La Cuenca Mesozoica del Centro de México está constituida por una secuencia sedimentaria marina mesozoica de más de 5,000 m de espesor, que se inicia en el Triásico Tardío y culmina a finales del Cretácico (Carrillo-Bravo, 1982).

Simultáneamente al depósito de los sedimentos de la CMCM y PVSLP, dentro de la zona de transición "plataforma-cuenca" se depositaron secuencias típicas de facies de talud a partir del Aptiano las cuales han sido comparadas por su litología y génesis con rocas carbonatadas de la Formación Tamabra del margen oriental de la PVSLP (López-Doncel, 2003). A partir del Turoniano en el Cretácico Tardío, estas secuencias sedimentarias se vieron influenciadas por un aporte continuo detrítico-arcilloso proveniente del occidente cambiando el dominio carbonatado que prevaleció desde los primeros sedimentos del Cretácico Temprano / Medio

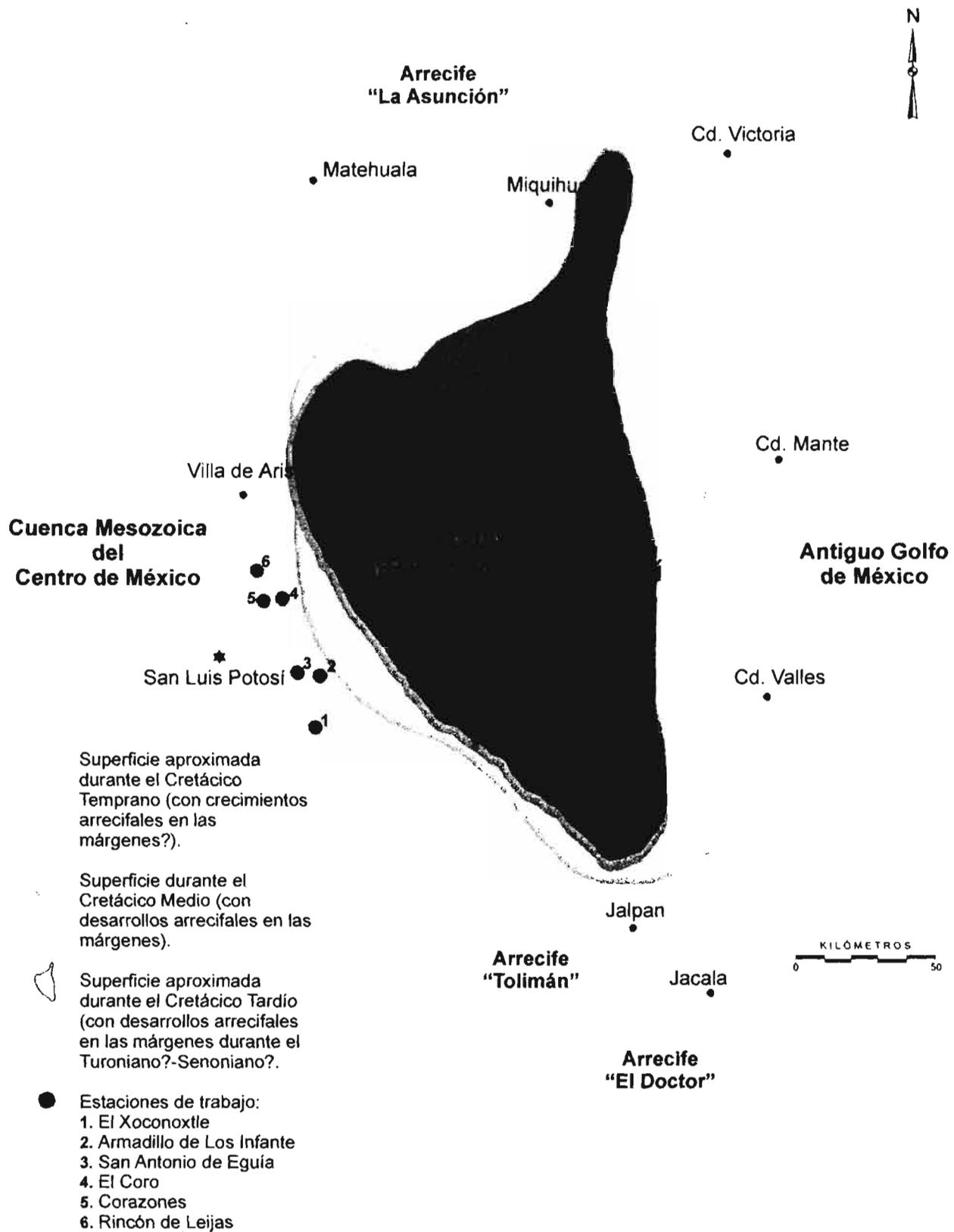
hasta el Cretácico Tardío a un ambiente calcáreo-arcilloso representado por la parte superior de la Formación Tamabra (Formación Soyatal) que gradualmente culminó en el Cretácico Tardío (límite K/T) en un dominio terrígeno con sedimentación de lutitas y limolitas (López-Doncel, 2000a, 2003 y 2004; Cruz-Márquez, 2005).

El Terciario está representado por varias unidades de rocas volcánicas que varían en composición desde riolitas y andesitas hasta basaltos. Los depósitos cuaternarios, se exponen en extensas planicies aluviales y depósitos de piedemonte en las laderas de las sierras (Sierra de Álvarez, San Pedro y El Coro) (Figura 6).



- Estaciones de Trabajo
  1. El Xoconoxtle
  2. Armadillo de Los Infante
  3. San Antonio de Eguía
  4. El Coro
  5. Corazones
  6. Rincón de Leijas

**Figura 4.** Localización de las estaciones de trabajo dentro de la zona de transición "plataforma-cuenca" (modificado de INEGI, 2002).



**Figura 5.** Localización de las estaciones de trabajo dentro de los límites de la Plataforma Valles-San Luis Potosí durante el Cretácico (modificado de Carrillo-Bravo, 1971).



## EXPLICACIÓN

ERA	PERIODO	PISO	COLUMNA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Arenas aluviales, escombros yabanicos	
		PLEISTOCENO		
	TERCIARIO	NEOGENO	PLIOCENO	
			MIOCENO	
		PALEOGENO	OLIGOCENO	Resaca, Rocas Piroclásticas
			EOCENO	
PALEOCENO				
MESOZOICO	CRETACICO	TARDIO	MAESTRICHTIANO	
			CAMPANIANO	
		PRIMARIO	SANTONIANO	Fm. Cardenas
			CONIACIANO	
	TEMPRANO	TURONIANO	Fm. Soyatal	
		CENOMANIANO	Fm. Cuesta del Cura, Fm. Tanabara	
		ALBIANO		
		APTIANO	Fm. Tamps. / Fm. La Peña, Fm. Guacóloma	

### ELEMENTOS ESTRUCTURALES

- ⊕ Anticlinal
- ⊕ Anticlinal Recostado
- ⊖ Sincinal
- ⊖ Sincinal Recostado
- ↔ Falla Inversa
- ⊥ Falla Lateral

### SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

- > Población
- Localidades
- ⊕ Carretera Federal
- Carretera
- Camino
- Estaciones de Trabajo

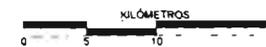


Figura 6. Mapa geológico del área de estudio (Modificado de Labarthe-Hernández *et al.*, 1982; López-Doncel, 2003)

## 1.8 Descripción de campo de las brechas estudiadas

### El Xoconoxtle

Brecha calcárea de aproximadamente 1 a 1.20 m de espesor la cual aflora de forma lenticular por lo que no fue posible medir su extensión lateral, hacia la base presenta gradación normal (Lámina 1 A) y hacia la cima ligeramente se observa una laminación cruzada (Lámina 1 B). El contacto inferior es abrupto, de tipo erosional y el contacto superior es ligeramente transicional-gradacional (Lámina 1 A), con calizas estratificadas con bandas de pedernal.

El color de los clastos es de color gris oscuro y la matriz de color gris claro, correspondiendo parcialmente a diferencias microfaciales. La brecha esta compuesta principalmente de intraclastos (30%), extraclastos (20%), bioclastos (10%) y muy esporádicamente clastos de pedernal (Lámina 1 C), del tamaño de gránulos (>2 mm) a bloques (>256 mm) (Apéndice 1), presentándose de forma mayormente tabular ("*bladed*", Apéndice 2), subangulosos a redondeados con baja esfericidad (campos L, N y S; Apéndice 3), siendo el grado de sorteamiento de pobre a muy pobre, en una fábrica soportada por granos (*grain-supported*) y solo en algunas partes se presenta soportada por matriz (*mud-supported*). El arreglo de los componentes es caótico en la base e imbricado en su parte media, reconociéndose hacia la parte media de esta brecha una orientación de los componentes en dirección al transporte siendo mayormente hacia el NW (Lámina 1 D y 2 A). El contacto entre los granos es de tipo puntual, largo, de sutura y ocasionalmente cóncavo-convexos (Lámina 2 B y Apéndice 4).

La masa básica constituye aproximadamente de 25-30% del total de la brecha, consiste mayormente de micrita a esparita y componentes menores del tamaño de la arena (calcarenita) y llega a encontrarse dolomitizada en diferentes grados.

El contenido faunístico a nivel afloramiento es de medio a bajo, encontrándose únicamente pequeños fragmentos no mayores de 1 cm de conchas de moluscos dispersos en toda la masa básica, muy probablemente son de fragmentos de rudistas (Lámina 2 C).

Presenta fracturas rellenas de calcita afectando tanto a clastos como a la masa básica, claramente posteriores a la formación de la brecha.

## **Lámina 1. El Xoconoxtle**

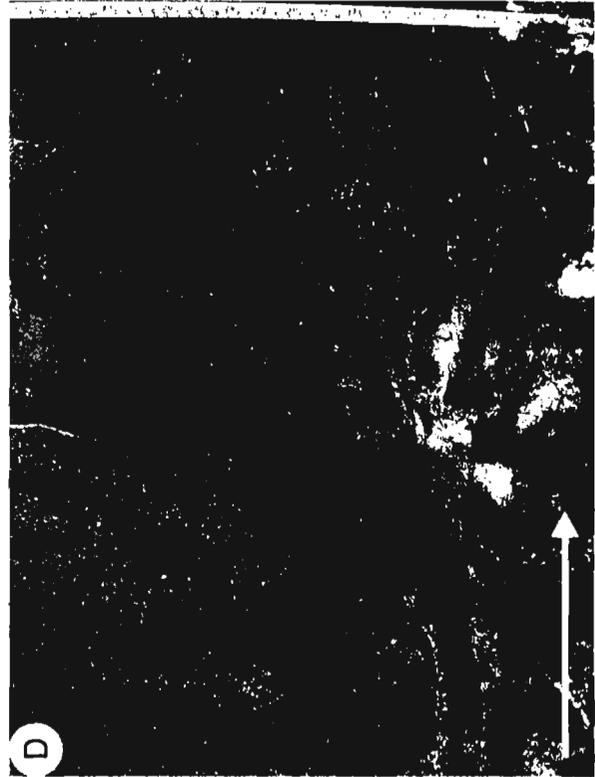
**A.** Rudstone de intraclastos, extraclastos y bioclastos de 1 a 1.2 m de espesor, de estructura masiva, presentando la brecha una gradación normal hacia la base (GN) y hacia la cima ligeramente se observa una laminación cruzada (LC). El contacto inferior es abrupto de tipo erosional y el contacto superior es ligeramente transicional (326147-2244259 UTM).

**B.** Fotografía a mayor detalle de la parte superior de la brecha donde se observa ligeramente la laminación cruzada (LC) y del contacto superior de tipo erosional-estilolítico (flecha) con las calizas de la Formación Cuesta del Cura.

**C.** Fotografía a detalle de los principales componentes de la brecha (más del 10% son mayores a 2 mm), principalmente intraclastos (Ic), extraclastos (Ec), bioclastos (Bc), entre otros y esporádicamente fragmentos angulosos de pedernal de forma tabular de hasta 10 cm (P), soportados en una matriz mayormente micrítica y en ocasiones microesparítica (flecha).

**D.** Los componentes de esta brecha presentan una orientación preferencial hacia la base y parte media de la misma reconociéndose la dirección del transporte (flecha), mientras que hacia la cima los componentes cambian a un arreglo totalmente caótico.

Lámina 1



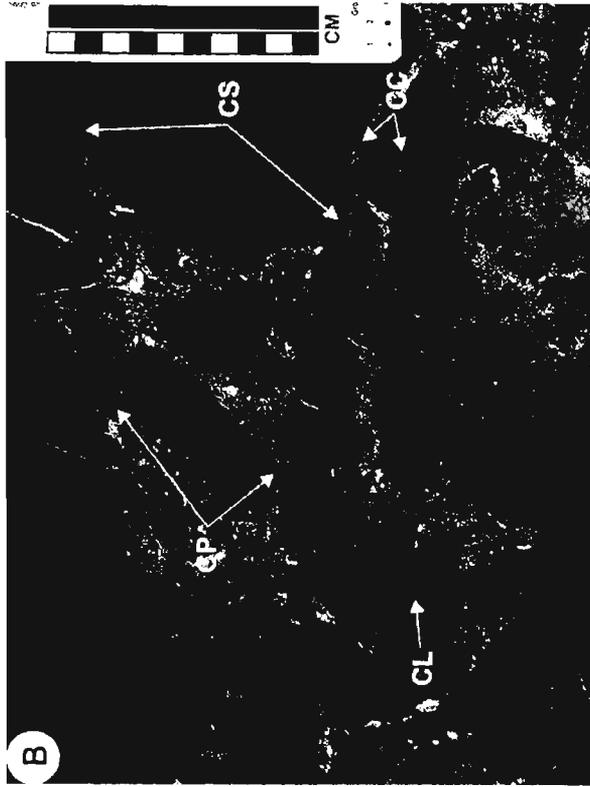
## **Lámina 2. El Xoconoxtle**

**A.** Corte tridimensional del afloramiento que permite determinar la dirección del transporte (flecha) de la brecha en base a la orientación e imbricación que presentan los clastos (326147-2244259 UTM).

**B.** Fotografía a detalle del contacto entre los granos los cuales son mayormente de tipo puntual (CP), largos (CL, de sutura (CS) y ocasionalmente cóncavos-convexos (CC), formando una fábrica predominantemente soportada en granos.

**C.** Detalle de los bioclastos (Bc) presentes en esta brecha, los cuales son en su mayoría fragmentos angulosos a redondeados no mayores de algunos centímetros de rudistas (R), así como de otros bioclastos asociados, provenientes de ambientes de aguas someras.

Lámina 2



### **Armadillo de Los Infante**

Brecha calcárea polimíctica con espesores que varían de 1 a 2 m, la cual aflora en forma de lentes por lo que no se pudo medir su extensión lateral, de estructura masiva, generalmente sin gradación; sin embargo, hacia la cima se observa una ligera gradación normal (Lámina 3, A y B). El contacto inferior y superior son marcantes pero no erosionales, interdigitada con calizas en estratos delgados a medios con bandas de pedernal, siendo el contacto superior ligeramente transicional. El color de los clastos es muy variable, desde tonos gris claro a gris muy oscuro resultado de la textura y/o composición de los clastos, y el color de la matriz presenta un tono pardo provocado probablemente por la presencia de arcillas y/u óxidos de fierro (Lámina 3 A).

Esta brecha está compuesta a nivel afloramiento, mayormente por extraclastos (55%), intraclastos (15%) y bioclastos (10%), el tamaño varía muy poco, siendo los mayores de 4 cm a poco menos de 1 cm (Apéndice 1), mayormente de forma esférica (*"equant"*, Apéndice 2) exhibiendo valores de redondez/esfericidad que van desde clastos subredondeados a redondeados con alta esfericidad (campos C, D y H; Apéndice 3), los componentes presentan un grado de sorteamiento moderado a bien sorteado, en una fábrica predominantemente soportada por granos (Lámina 3 C). No hay una orientación preferencial de los componentes pero si una fábrica homogénea, el contacto entre los granos generalmente es de tipo puntual y en ocasiones cóncavo/convexo (Apéndice 4).

El contenido de matriz es bajo (<20 %) en una relación clasto/matriz de 3:1, y consiste mayormente de micrita la cual llega a presentar un contenido bajo de arcillas, y llega a encontrarse ligeramente dolomitizada, los límites entre clastos/matriz son bruscos. Presenta un contenido faunístico muy pobre a nivel afloramiento, encontrándose esporádicamente algunos bioclastos de rudistas, en su mayoría Radiolíticos (Lámina 3 D), además de bioclastos sin determinar dispersos por todo el afloramiento y sin contacto entre ellos.

Todo el afloramiento presenta fracturas rellenas de calcita afectando tanto a clastos como a la masa básica, claramente posteriores a la formación de la brecha.

### **Lámina 3. Armadillo de Los Infante**

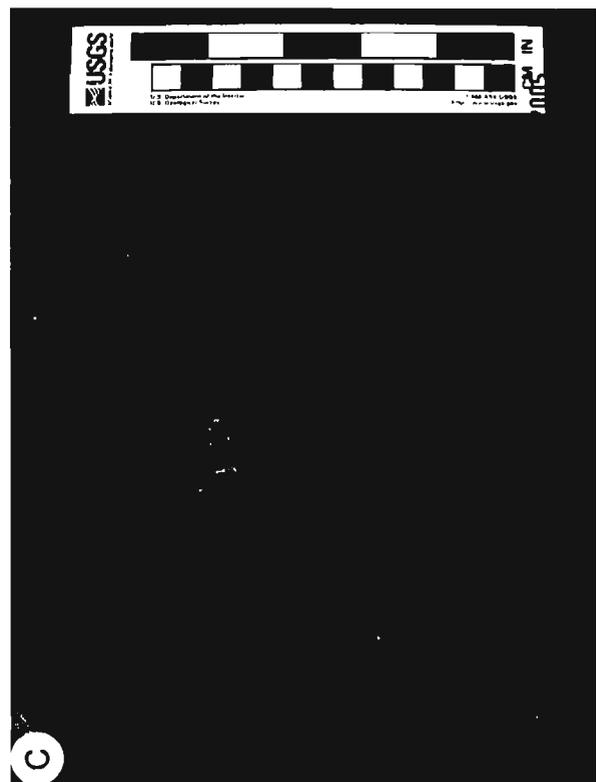
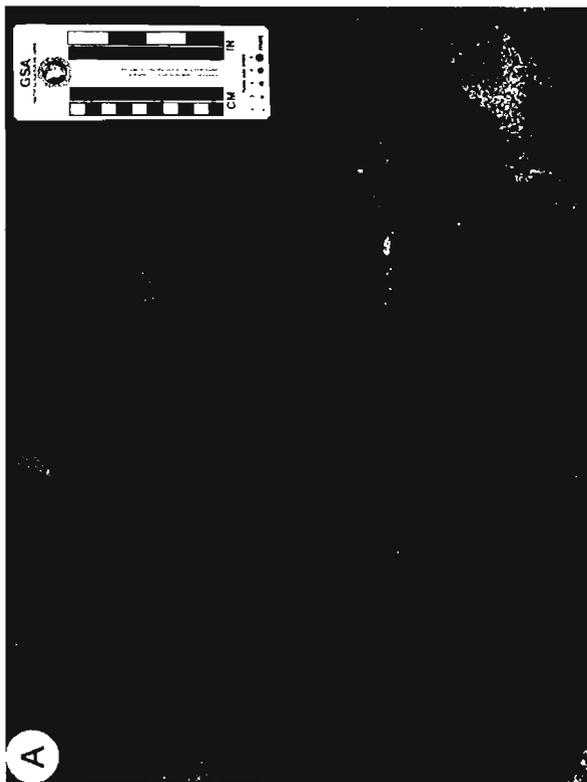
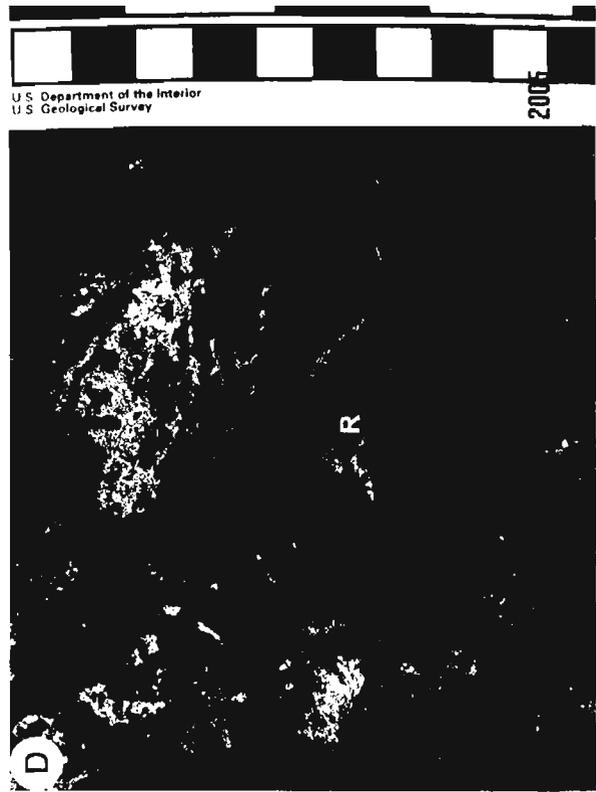
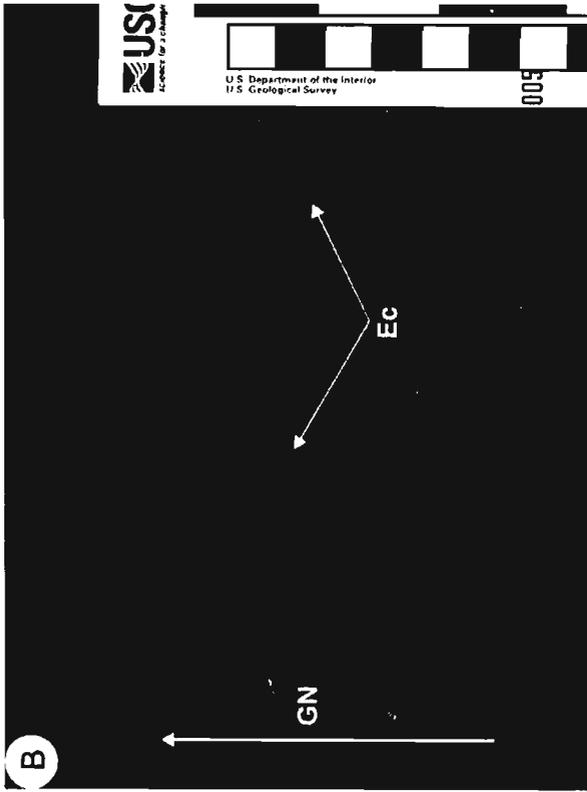
**A.** Rudstone de extraclastos, bioclastos e intraclastos/Extrabiointramicrudita. Brecha calcárea polimíctica con más del 70% de componentes, formando una fábrica soportada en granos, en una masa básica predominantemente micrítica y ligeramente dolomitizada (328694-2461130 UTM).

**B.** Detalle de la cima de la brecha, en donde se reconoce una discreta gradación normal (GN), así como la disminución de componentes y aumento de la matriz, la cual está compuesta mayormente de wackestone/packstone con bioclastos y extraclastos (Ec).

**C.** Fotografía a detalle de los componentes, los cuales se presentan desde subredondeados a redondeados con alta esfericidad, de 4 cm a poco menos de 1 cm de diámetro y sorteamiento moderado a bien sorteado, indicando un mayor retrabajamiento de estos.

**D.** Fragmento de un rudista (R), el cual aún conserva parte de su estructura interna original exhibiendo un patrón reticulado, se trata de un Radiolítico, los cuales son comunes en ambientes de aguas someras.

Lámina 3



## San Antonio de Eguía

Brecha polimíctica (clastos carbonatados polifaciales) no mayor de 0.5 m de espesor la cual aflora en forma de lentes por lo que no se pudo medir su extensión lateral (Lámina 4 A). Presenta una estructura masiva, con una muy ligera gradación normal hacia la cima. Tanto el contacto inferior como superior no afloran; sin embargo, muy probablemente se encuentra interdigitada con calizas compuestas de mudstone-wackestone en estratos delgados.

El color de los clastos es muy variable, desde tonos de gris claro a tonos de rojo claro debido muy probablemente a diferencias litológicas y microfaciales, claramente en una matriz de color gris oscuro (Lámina 4 B).

Esta brecha calcárea polimíctica se compone a nivel afloramiento, principalmente por grandes intraclastos (40%), extraclastos (20%) y bioclastos (10%). El tamaño de los componentes es muy variable, siendo no mayores de 20 cm hasta poco menos de 1 cm (Lámina 4 B y Apéndice 1), lo que origina un grado de sorteamiento de pobre a moderado. Los componentes son generalmente de forma tabular ("*bladed*", Apéndice 2) exhibiendo valores de redondez/esfericidad que van desde clastos subangulosos a subredondeados con baja esfericidad (campos L, M y R en la tabla de Krumbein, Apéndice 3).

El arreglo de los componentes es generalmente caótico; sin embargo, hacia la parte media de la brecha es posible observar una ligera orientación e imbricación de los componentes (Lámina 4 C). La fábrica de esta brecha es mayormente soportada por granos y en ocasiones varía a soportada por matriz. Los contactos entre los componentes son puntuales y largos (Lámina 4 D y Apéndice 4).

La matriz es mayormente micrita de color gris oscuro a pardo en una relación clasto/matriz de 3:1, llegándose a encontrar parcialmente o totalmente dolomitizada.

El contenido faunístico es medio a bajo, encontrándose únicamente algunos ejemplares completos de amonites (Lámina 5 A) y bioclastos ligeramente agrupados los cuales flotan en la matriz (Lámina 5 B), además de amonites dentro de algunos intraclastos (Lámina 5 C).

Toda la brecha presenta fracturas rellenas de calcita afectando tanto a clastos como a la masa básica, claramente formadas después del depósito de la brecha.

#### **Lámina 4. San Antonio de Eguía**

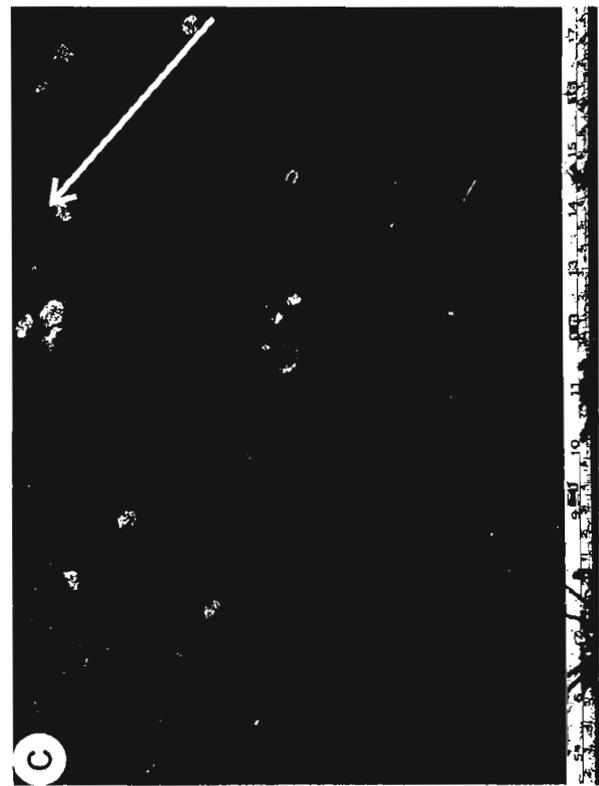
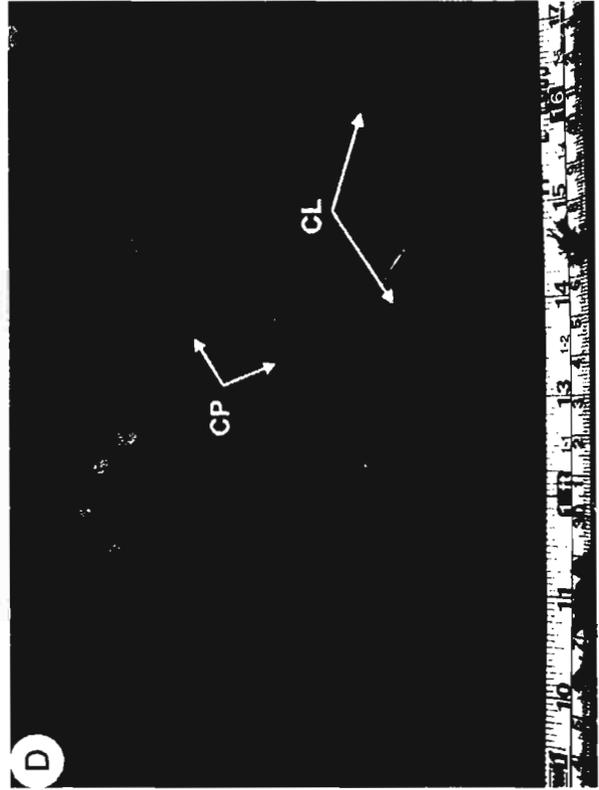
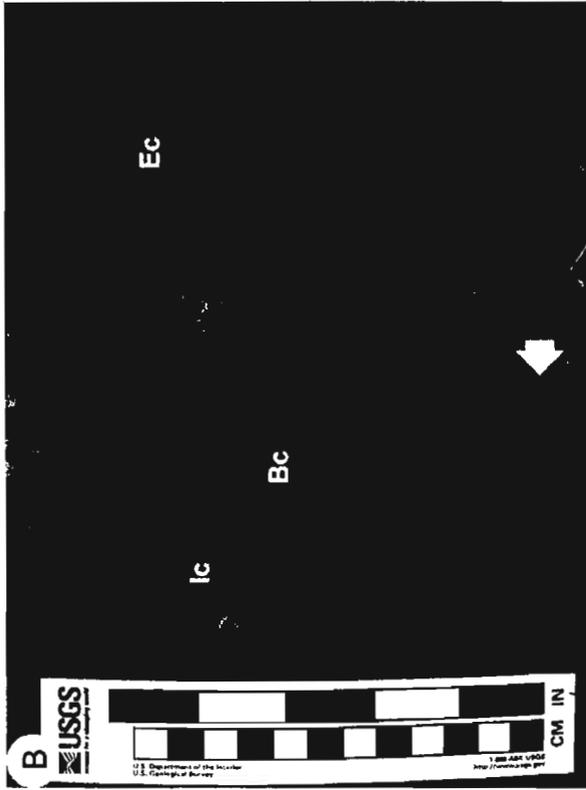
**A.** Brecha calcárea polimíctica de espesor no mayor a 0.5 m, la cual aflora en forma lenticular, de estructura masiva, con una muy ligera gradación normal hacia la cima. Ambos contactos no afloran claramente. Afloramiento al SE del poblado de San Antonio de Eguía, Cerro de San Pedro (321326 -2462651 UTM).

**B.** Dolofloatstone-rudstone de intraclastos (Ic), bioclastos (Bc) y extraclastos (Ec) / Dolointrabioextramicrudita. Brecha calcárea con un gran contenido de componentes (>60%), mayores a 2 mm, los cuales llegan a formar una fábrica que varía desde soportada por matriz a soportada en granos. La masa básica es predominantemente micrita, la cual se encuentra parcialmente dolomitizada (flecha).

**C.** El arreglo de los componentes en esta brecha es generalmente caótico, sin embargo, como se observa en la fotografía en algunas partes es posible reconocer una ligera orientación e imbricación de los componentes indicando claramente la dirección del transporte (flecha).

**D.** Detalle del tipo de contacto entre los componentes, siendo los más importantes de tipo puntual (CP), largo (CL) y muy ocasionalmente de sutura. Cuando la fábrica tiende a soportada por matriz no hay contacto entre los componentes.

Lámina 4



#### **Lámina 4. San Antonio de Eguía**

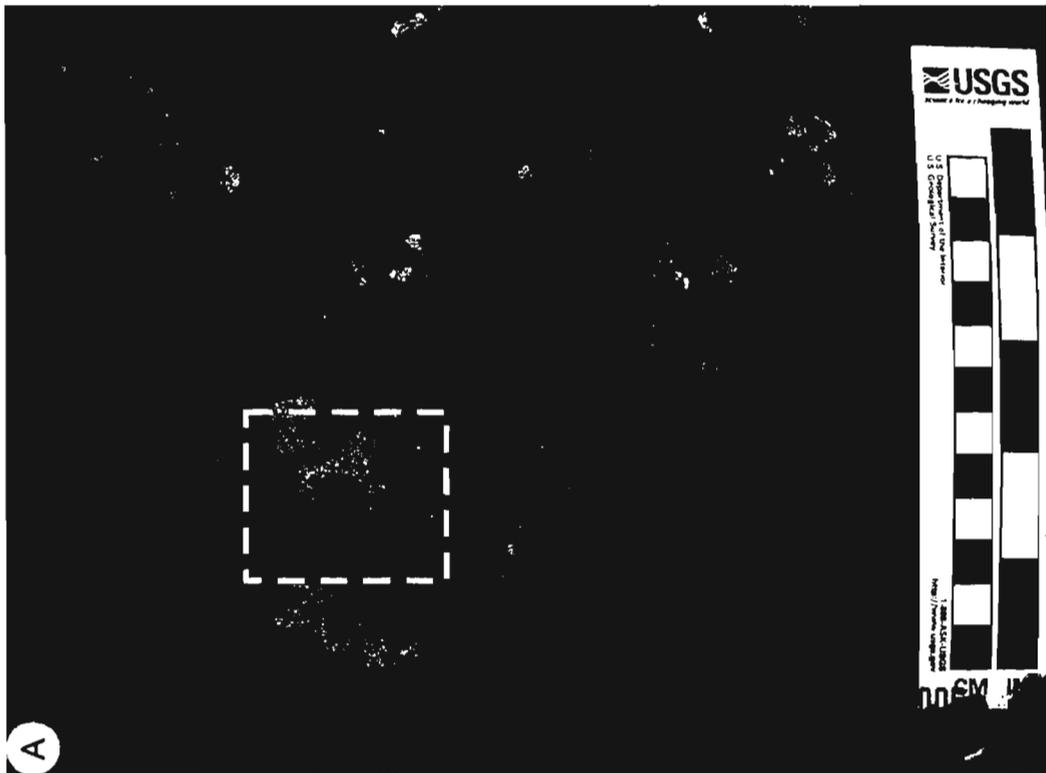
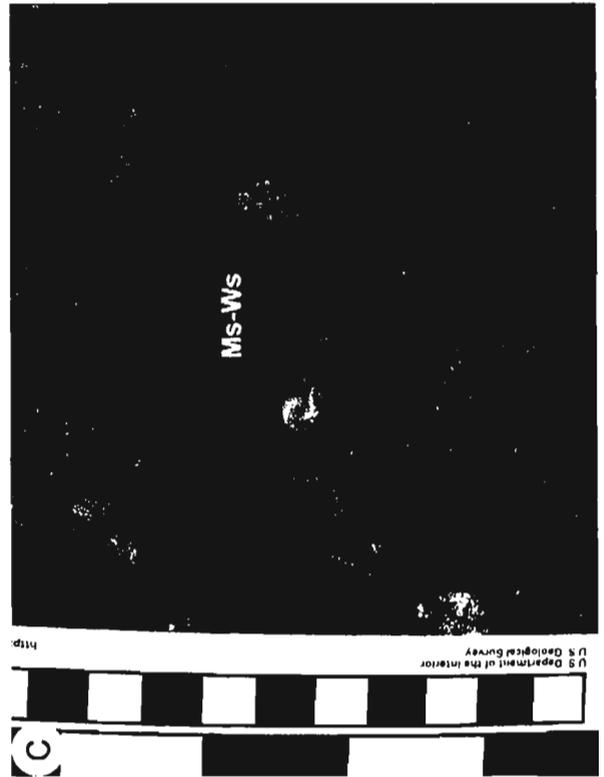
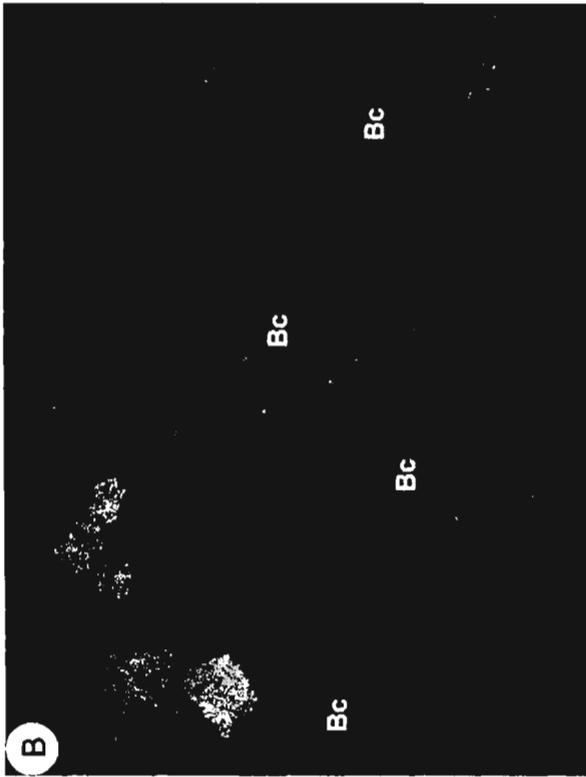
**A.** Brecha calcárea polimíctica de espesor no mayor a 0.5 m, la cual aflora en forma lenticular, de estructura masiva, con una muy ligera gradación normal hacia la cima. Ambos contactos no afloran claramente. Afloramiento al SE del poblado de San Antonio de Eguía, Cerro de San Pedro (321326 -2462651 UTM).

**B.** Dolofloatstone-rudstone de intraclastos (Ic), bioclastos (Bc) y extraclastos (Ec) / Dolointrabioextramicrudita. Brecha calcárea con un gran contenido de componentes (>60%), mayores a 2 mm, los cuales llegan a formar una fábrica que varía desde soportada por matriz a soportada en granos. La masa básica es predominantemente micrita, la cual se encuentra parcialmente dolomitizada (flecha).

**C.** El arreglo de los componentes en esta brecha es generalmente caótico, sin embargo, como se observa en la fotografía en algunas partes es posible reconocer una ligera orientación e imbricación de los componentes indicando claramente la dirección del transporte (flecha).

**D.** Detalle del tipo de contacto entre los componentes, siendo los más importantes de tipo puntual (CP), largo (CL) y muy ocasionalmente de sutura. Cuando la fábrica tiende a soportada por matriz no hay contacto entre los componentes.

Lámina 5



## El Coro

Brecha calcárea de aproximadamente 12 m de espesor la cual aflora en forma lenticular por algunos kilómetros, no obstante no se midió exactamente su extensión lateral. Presenta una estructura masiva, claramente con una gradación normal hacia la cima (Lámina 6 A). El contacto inferior es marcante y localmente se reconocen estructuras de erosión mientras que el contacto superior es tipo transicional, sobreyaciendo a calizas en estratos medios a gruesos de la Formación La Peña (López Doncel, 2003) y subyaciendo a calizas margosas en estratos delgados a medios de la Formación Soyatal (López Doncel, 2003).

El color de los clastos varía desde tonos gris claro a gris muy oscuro, mientras que la matriz presenta un tono gris oscuro. La variación de tonos de gris muy probablemente es debido a diferencias faciales y/o al grado de dolomitización.

Este cuerpo brechoso esta compuesto por componentes de aguas someras y aguas profundas que consisten principalmente de intraclastos (25%), extraclastos (20%), bioclastos (15%) y fragmentos de pedernal (<10%) (Lámina 6 B). Encontrando que el tamaño de los componentes varía notablemente, desde guijas de poco menos de 1 cm hasta bloques de 1 m de diámetro (Apéndice 1), dando lugar a la coexistencia de clastos muy grandes junto a muy pequeños y a un grado de sorteamiento que varía de muy pobre (base y parte media de la brecha) a moderado (cima de la brecha). Los clastos son principalmente de forma tabular ("*bladed*", Apéndice 2) exhibiendo valores de redondez/esfericidad que van desde angulosos a subangulosos mezclados con subredondeados, todos ellos de baja esfericidad (campos H, P, M y R en la tabla de Krumbein, Apéndice 3).

La fábrica es mayormente soportada en matriz hacia la parte media de la brecha (Lámina 6 C); sin embargo, hacia la cima la fábrica tiende a ser soportada por granos (Lámina 6 A). Es posible reconocer hacia la parte media de la brecha una orientación de los componentes pero en general el arreglo es mayormente de tipo caótico (Lámina 6 D). El contacto entre los granos varía de tipo puntual a cóncavo/convexo hacia la cima de la brecha, mientras que hacia la parte baja y media de la misma el contacto entre los granos es mayormente de tipo largo (Lámina 7 A y Apéndice 4).

La matriz o masa básica constituye por lo menos un 30% del total de la brecha, en una proporción clastos/matriz de 3:2 y consiste principalmente de micrita a esparita; sin embargo, la brecha en general presenta un grado de dolomitización muy alto afectando mayormente a la masa básica que a los clastos.

Se observaron en los afloramientos fracturas rellenas de calcita afectando tanto a clastos como a la masa básica, claramente posteriores al depósito de la brecha.

El contenido faunístico varía de medio a alto, encontrándose fragmentos y ejemplares completos de rudistas y pequeños bioclastos como bivalvos (Lámina 7 B) dispersos en la toda la brecha y sin contacto entre ellos, así como extraclastos conteniendo fauna arrecifal (Lámina 7 C y D).

## **Lámina 6. El Coro**

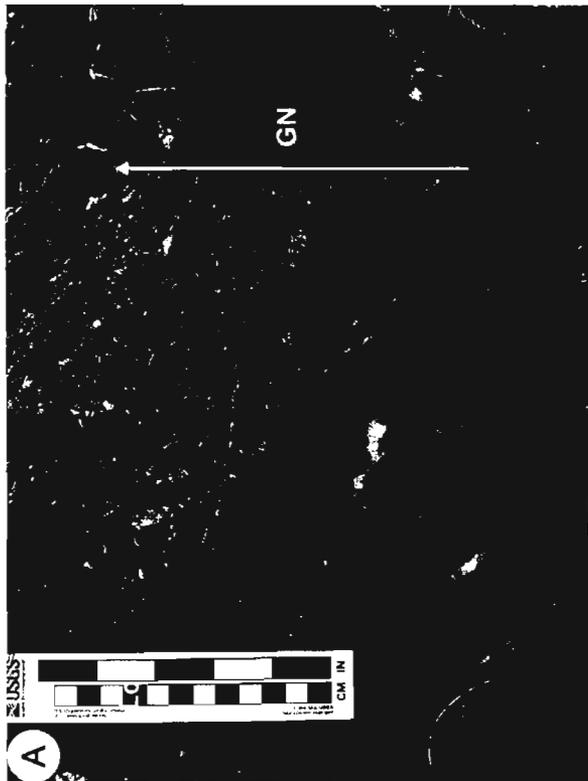
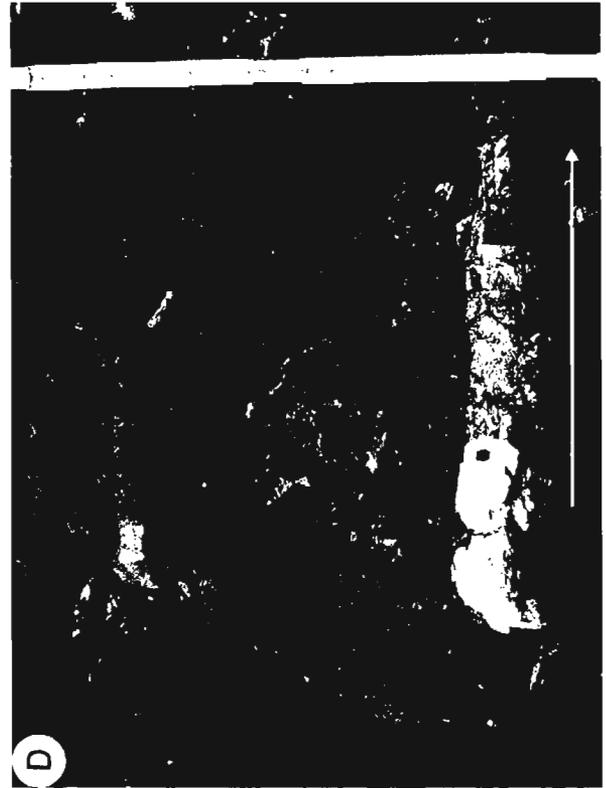
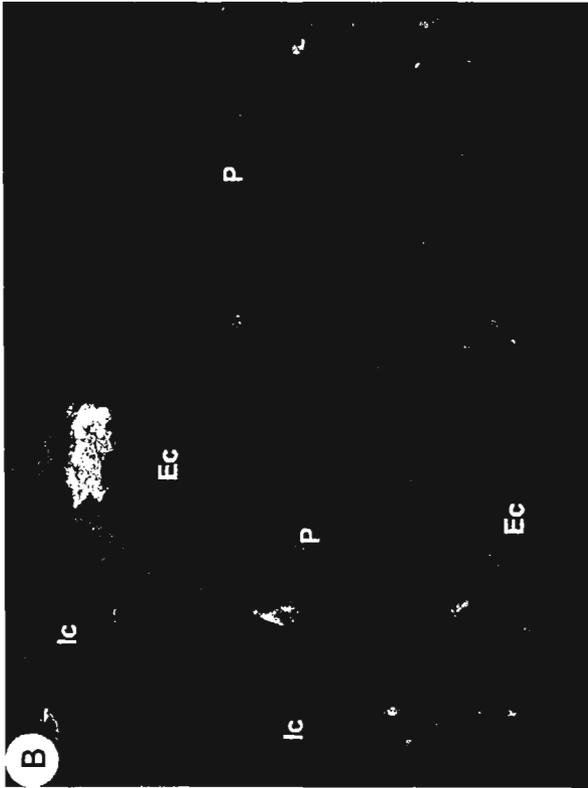
**A.** Brecha calcárea polimíctica con más del 55% de componentes, en una fábrica soportada en granos. La masa básica es predominantemente esparítica la cual se encuentra totalmente dolomitizada. Fotografía a detalle de la parte superior de la brecha El Coro la cual muestra una estructura masiva con una gradación normal (GN) hacia la cima (317676-2487222 UTM).

**B.** Este cuerpo brechoso esta constituido por floatstone y rudstone de intraclastos (Ic), bioclastos, extraclastos (Ec) y fragmentos de pedernal (P), sin arreglo alguno en una matriz que varía de micrítica a esparítica, la cual llega a encontrarse dolomitizada en diferentes grados.

**C.** Fotografía a detalle de la parte media de la brecha El Coro la cual muestra componentes angulosos mayores a 2 mm principalmente clastos y fragmentos de pedernal (P) los cuales flotan en una matriz micrítica a esparítica. La fábrica es soportada por matriz. Escala 1 m.

**D.** Fotografía de la parte media de la brecha, en la cual los componentes muestran una orientación preferencial, el cual hacia la cima cambia a un arreglo caótico.

Lámina 6



## **Lámina 7. El Coro**

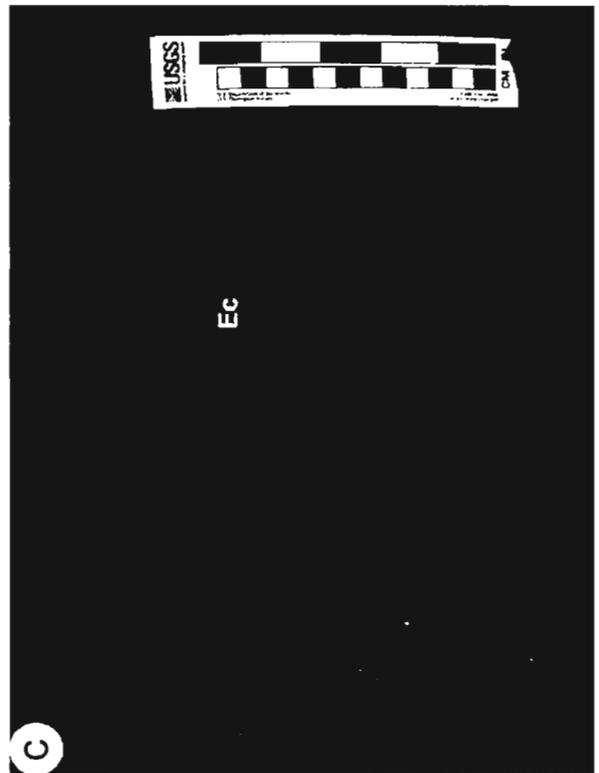
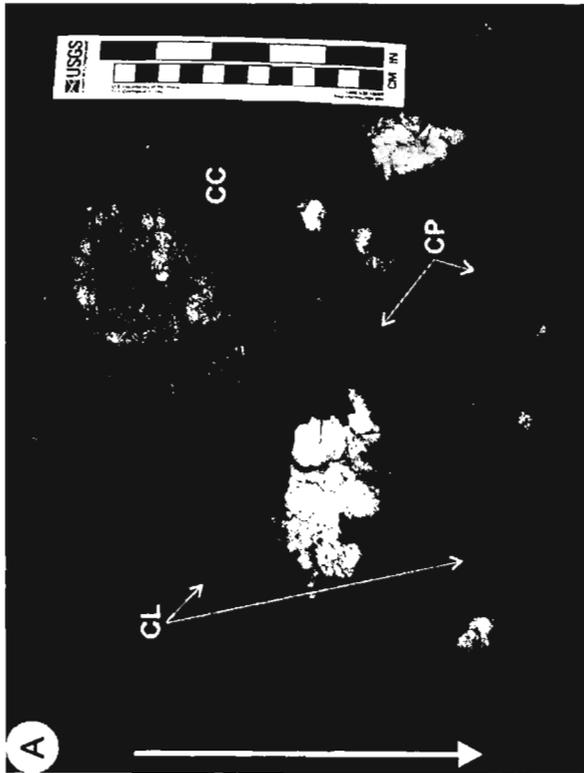
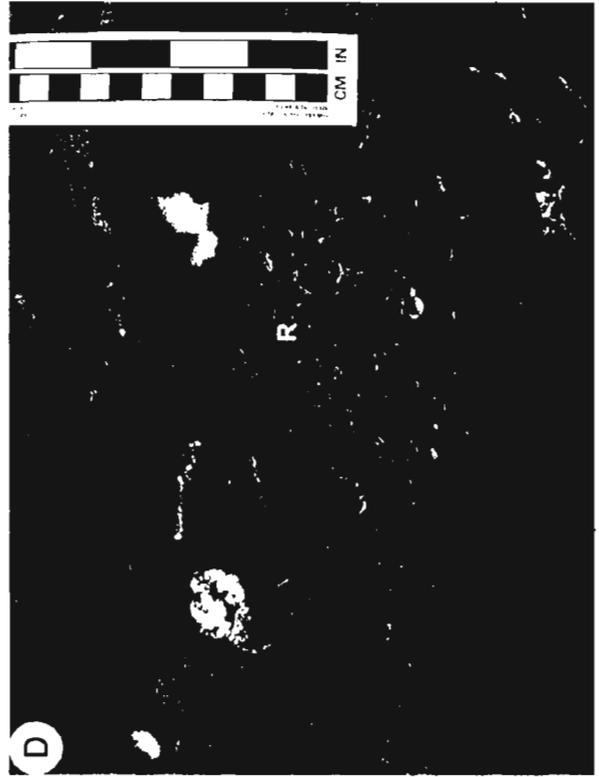
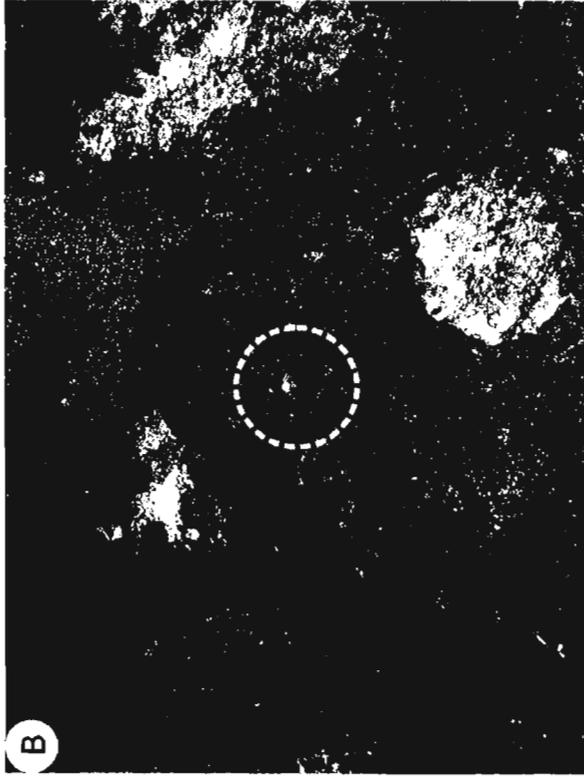
**A.** Fotografía a nivel afloramiento que muestra el tipo de contacto entre los granos el cual varía de tipo puntual (CP) y cóncavo/convexo (CC) hacia la cima de la brecha (flecha), mientras que hacia la parte baja y media de esta es mayormente de tipo largo (CL). Escala Gráfica 12 cm.

**B.** Ejemplar bien conservado de un pequeño bivalvo de aproximadamente 1 cm de diámetro (círculo), el cual se encuentra flotando dentro de la matriz micritica-esparítica en la parte media de la brecha de El Coro (317676-2487222 UTM).

**C.** Detalle de un extraclasto (al centro) el cual consiste de rudstone bioclastico / bioesparudita, muy probablemente de zonas de arrecife.

**D.** Extraclasto compuesto de más del 10% de componentes, principalmente fragmentos de rudistas (R), algunos mayores a 2 mm de tamaño los cuales flotan en una matriz micritica, formando una fábrica soportada por matriz.

Lámina 7



## Corazones

Brecha calcárea de aproximadamente 14 m de espesor, la cual aflora en forma lenticular donde se midieron 1.2 km de extensión lateral sin tomar en cuenta el acortamiento tectónico, generalmente de estructura masiva (Lámina 8 A); sin embargo, hacia la cima presenta una gradación normal (Lámina 8 B). El contacto inferior es marcante pero no erosivo con calizas laminadas en estratos de 6 a 16 cm de espesor con nódulos de pedernal (Lámina 8 C) y el contacto superior es transicional con calizas laminadas en estratos de 10 a 20 cm de espesor y con bandas de pedernal (Lámina 8 D). Los clastos se presentan en diferentes tonos grisáceos, mientras que la matriz varía de un tono gris claro hasta pardo.

Este cuerpo brechoso está compuesto a nivel afloramiento, mayormente por intraclastos (25%), extraclastos (10%), bioclastos (<10%) y es común encontrar fragmentos y nódulos de pedernal (<10%); el tamaño de los componentes varía desde guijas y gujarros (16-64 mm) hasta bloques (<50 cm) (Lámina 9 A y Apéndice 1), generalmente de forma tabular y de disco (*"bladed"* y *"oblate"*, Apéndice 2) exhibiendo valores de redondez y esfericidad que van desde clastos angulosos a subredondeados con baja esfericidad (campos L, P, Q y R, Apéndice 3), el grado de sorteamiento varía de muy pobre a moderado. El tipo de fabrica es principalmente soportada por matriz y solo en algunas partes es soportada por granos. Presentando una orientación preferencial de los componentes hacia la cima (Lámina 9 B), mientras que hacia parte media e inferior, el arreglo de los componentes es totalmente caótico. El contacto entre los componentes es mayormente de tipo puntual y ocasionalmente largo (Apéndice 4).

La matriz consiste básicamente de micrita en una relación clastos/matriz de 3:2, y comúnmente los afloramientos presentan evidencias de dolomitización.

El contenido faunístico es de medio a alto, encontrándose algunos fragmentos de rudistas dispersos en la matriz y dentro de los extraclastos (Lámina 9 C), así como una gran cantidad de amonites exclusivamente dentro de intraclastos (Lámina 9 D). Todo el depósito presenta fracturas rellenas de calcita, claramente formadas posteriormente al depósito de la brecha.

## **Lámina 8. Corazones**

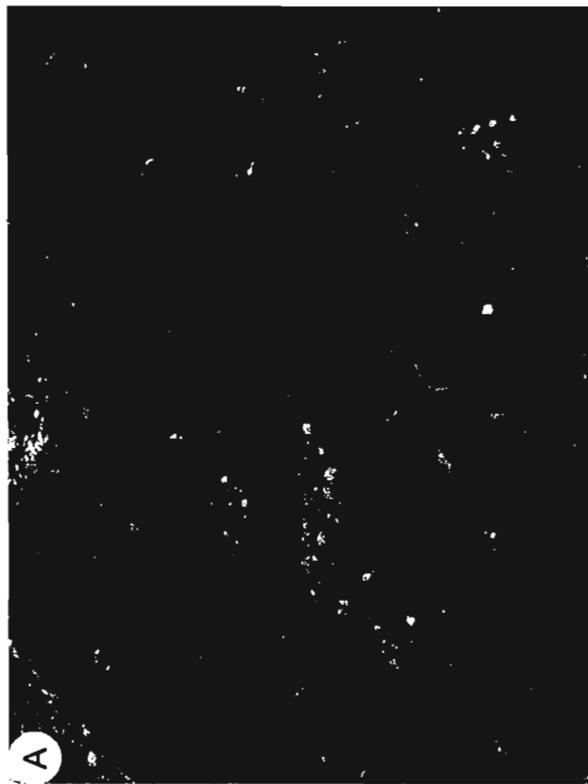
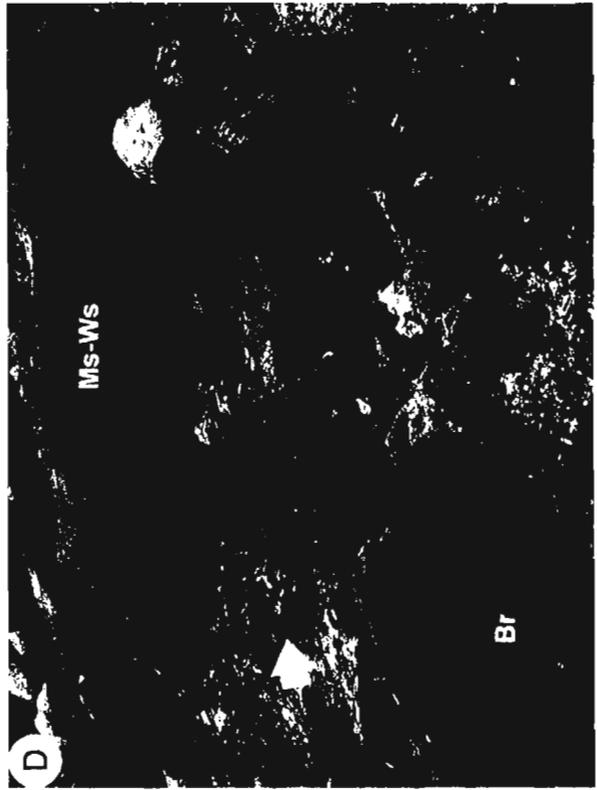
**A.** Vista general de la parte inferior de la brecha calcárea polimíctica que aflora en la localidad de Corazones, la cual en su totalidad llega a presentar un espesor no mayor a 14 m, generalmente aflora de manera lenticular y muestra hacia su parte inferior y media una estructura mayormente masiva. Flanco occidental de la Sierra El Coro, Mpio. de Villa Hidalgo (313222-2486533 UTM).

**B.** Fotografía a detalle de la parte superior de la brecha de Corazones, la cual muestra claramente hacia su cima una gradación normal (GN) de los componentes, e inclusive presentan una orientación preferencial (flecha) en comparación a los componentes de la parte media y baja los cuales presentan un arreglo totalmente caótico. Flanco occidental de la Sierra El Coro, Mpio. de Villa Hidalgo.

**C.** Fotografía que muestra el contacto inferior (flecha) de la brecha (Br) con calizas compuestas de mudstone-wackestone laminado (Ms-Ws) en estratos de 6 a 16 cm de espesor y con nódulos de pedernal. El contacto es marcante pero no erosivo. Flanco occidental de la Sierra El Coro, Mpio. de Villa Hidalgo.

**D.** Fotografía que muestra el contacto superior (flecha) de la brecha (Br), la cual pasa transicionalmente a calizas compuestas de mudstone a wackestone laminados (Ms-Ws) en estratos de 10 a 20 cm de espesor y con bandas de pedernal. Flanco occidental de la Sierra El Coro, Mpio. de Villa Hidalgo.

Lámina 8



## **Lámina 9. Corazones**

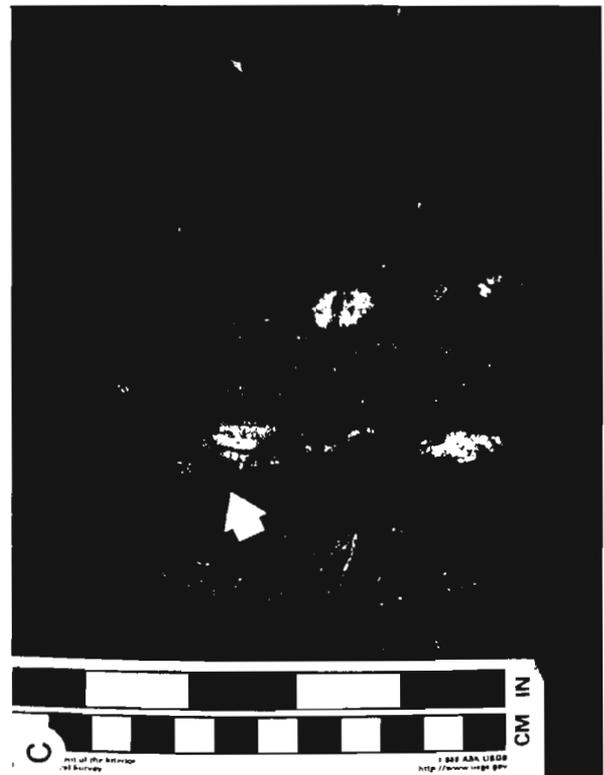
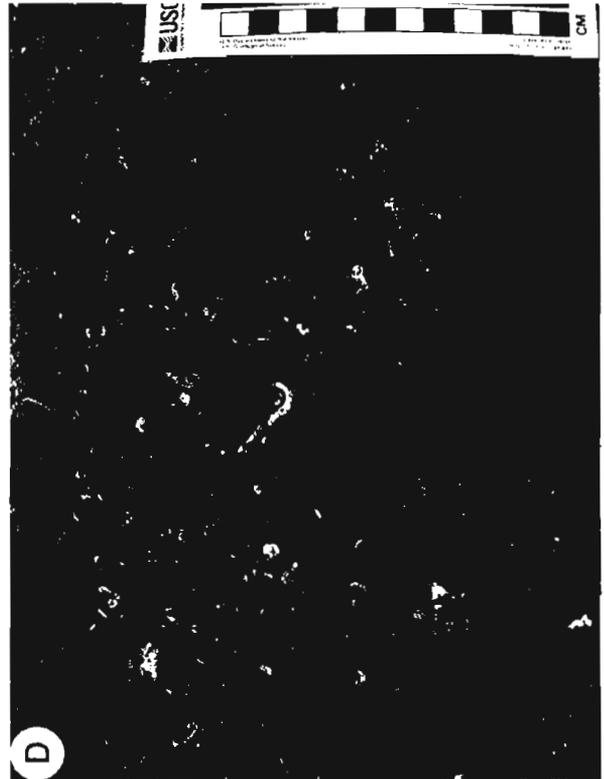
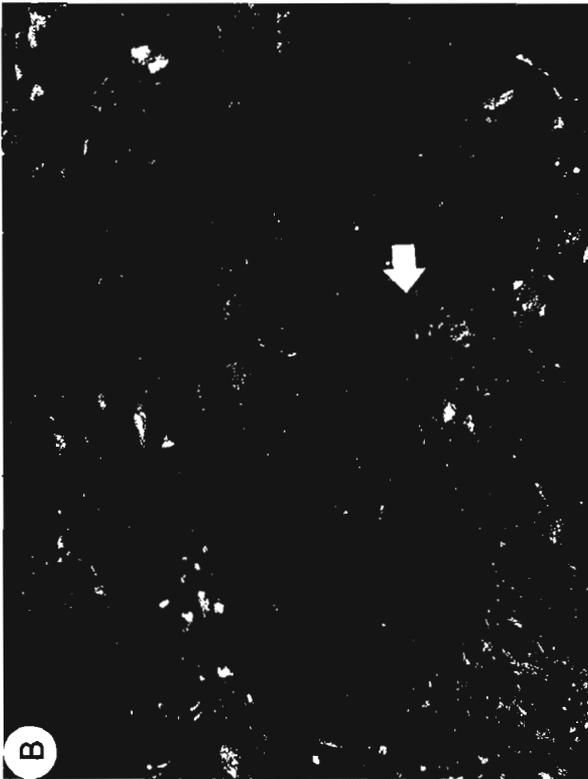
**A.** Floatstone de intraclastos (Ic), extraclastos (Ec), bioclastos (Bc) y nódulos de pedernal (P). El tamaño de los componentes puede llegar hasta 20 cm de diámetro, de forma tabular y de disco que van desde clastos angulosos a subredondeados con baja esfericidad. Aunque el contenido de componentes es alto se alcanza a reconocer que estos flotan en una masa básica la cual consiste de micrita (313222-2486533 UTM).

**B.** Fotografía a detalle de la parte superior de la brecha de Corazones la cual presenta mayormente una fábrica soportada en granos, e inclusive los componentes muestran una orientación preferencial en dirección al transporte (flecha).

**C.** Bioclasto que muestra la pared y estructura interna típica en los rudistas.

**D.** Detalle de los intraclastos dentro de los cuales es común encontrar fragmentos o ejemplares bien conservados de amonites.

Lámina 9



## Rincón de Leijas

En esta localidad fueron reconocidos dos cuerpos brechosos, uno de ellos localizado en el Cerro La Santa Cruz (CSC) y el otro en el Cerro El Meco (CEM). Ambos afloramientos son de espesor variable, las brechas del CSC varían desde 35 a 50 cm y las del CEM son de poco más de 1.6 m de espesor aproximadamente (Lámina 10 A y B), aflorando de forma lenticular. Ambos cuerpos brechosos son mayormente de estructura masiva y ocasionalmente presentan una gradación normal hacia la cima, comúnmente asociados con turbiditas (Lámina 10 C). Todas las brechas de esta localidad se encuentran interdigitadas con calizas laminadas y calizas margosas en estratos delgados. Solo un afloramiento del CEM presentó un contacto inferior de tipo erosivo (Lámina 10 D), mientras que en otros afloramientos (CSC y CEM), este contacto no está expuesto, y en todos los afloramientos se observó un contacto superior de tipo transicional con las rocas que les sobreyacen (Lámina 11 A y B).

Ambas brechas (CSC y CEM) presentan características litológicas muy similares en el campo; sin embargo, se observaron claramente diferencias marcadas en la granulometría y morfología de los componentes, por lo que se consideraron como dos depósitos diferentes.

El color de los clastos varía de gris claro a gris oscuro y la matriz/masa básica es de color gris claro, correspondiendo parcialmente a diferencias microfaciales.

Todas las brechas de esta localidad están compuestas de manera general por intraclastos (40%), extraclastos (<20%), bioclastos (<15%), y de manera esporádica se encuentran nódulos de pedernal (<5%) (Lámina 11 C). El tamaño de los componentes en ambos cuerpos brechosos es significativo, oscilando desde el tamaño de gránulos (>2 mm) a bloques no mayores de 40 cm (Apéndice 1), siendo mayormente los componentes de forma tabular ("*bladed*", Apéndice 2) exhibiendo diferentes valores de redondez/esfericidad, que van desde clastos angulosos a redondeados con baja a media esfericidad (campos M, Q, R y S en la tabla de Krumbein, Apéndice 3), dando lugar a un grado de sorteamiento que varía de muy pobre a pobre (Lámina 11 D).

La fábrica es mayormente soportada por granos y solo en uno afloramiento presentó una fábrica soportada por lodo (Lámina 11 C).

Los componentes se presentan generalmente en un arreglo caótico; sin embargo hacia la base de algunos afloramientos fue posible reconocer la presencia de clastos imbricados y una orientación preferencial de los mismos hacia el NW (Lámina 12 A). El contacto entre los granos es mayormente de tipo largo y puntual, y muy raramente de tipo sutura (Lámina 12 B y Apéndice 4).

La matriz o masa básica constituye menos de un 25% del total de las brechas en una proporción clastos/matriz de 3:1 y consiste mayormente de micrita y en menor proporción esparita, llegándose a encontrar dolomitizada en diferentes grados.

El contenido faunístico varía de pobre a intermedio, encontrándose solo algunos fragmentos completos de rudistas en el Cerro El Meco (Lámina 12 C), además de una gran cantidad de bioclastos no determinados dispersos dentro de la masa básica en ambas brechas (Lámina 12 D).

Presenta fracturas rellenas de calcita afectando tanto a clastos como a la masa básica, claramente formadas posteriormente al depósito.

## **Lámina 10. Rincón de Leijas**

**A.** Afloramiento de la brecha calcárea polimíctica del Cerro La Santa Cruz, con un espesor entre 35 a 50 cm, compuesta por más del 70% de componentes, los cuales debido a su extremo empaquetamiento forman una fábrica soportada en granos y ocasionalmente en algunas partes la disminución en el contenido de componentes forma una fábrica soportada en lodo, la masa básica varía de micrita a esparita (rudstone-floatstone). Afloramiento Cerro La Santa Cruz (311527-2494589 UTM), Rincón de Leijas, S.L.P.

**B.** Vista general de la brecha calcárea que aflora en el Cerro El Meco la cual presenta un espesor mayor a 1.6 m aproximadamente y está compuesta por un gran contenido de componentes (>50%), siendo más del 10% de estos mayores a 2 mm, en una masa básica que varía de micrita a esparita, formando una fábrica soportada en granos (rudstone). Afloramiento Cerro El Meco (312917-2495640 UTM), Rincón de Leijas, S.L.P.

**C.** Algunos afloramientos presentan de manera esporádica una gradación normal. Afloramiento Cerro La Santa Cruz (311886-2494808 UTM), Rincón de Leijas, S.L.P.

**D.** Fotografía a detalle del contacto inferior de la brecha (Br), siendo mayormente de tipo erosivo, observándose la presencia de estilolitas en el mismo (flecha). Sobreyace a calizas laminadas compuestas de mudstone a wackestone (Ms-Ws). Afloramiento Cerro La Santa Cruz (311527-2494589 UTM), Rincón de Leijas, S.L.P.

Lámina 10

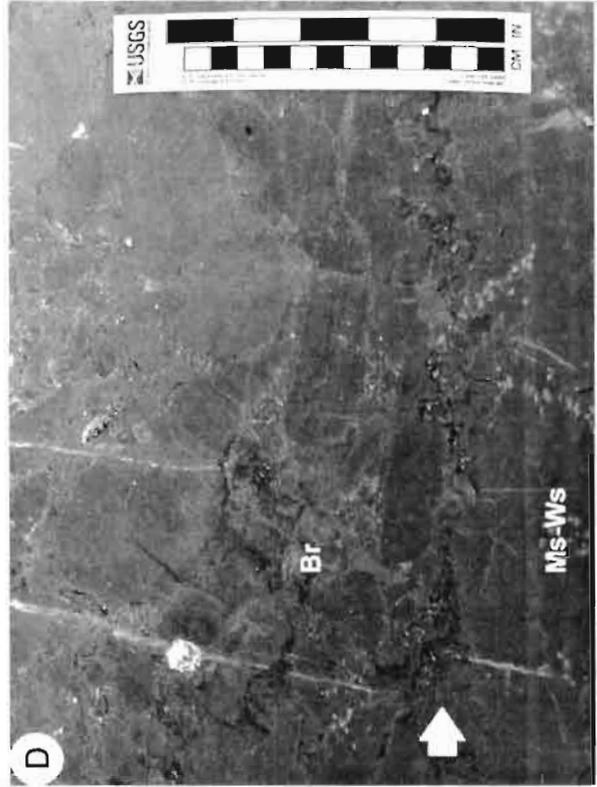


Lámina 11

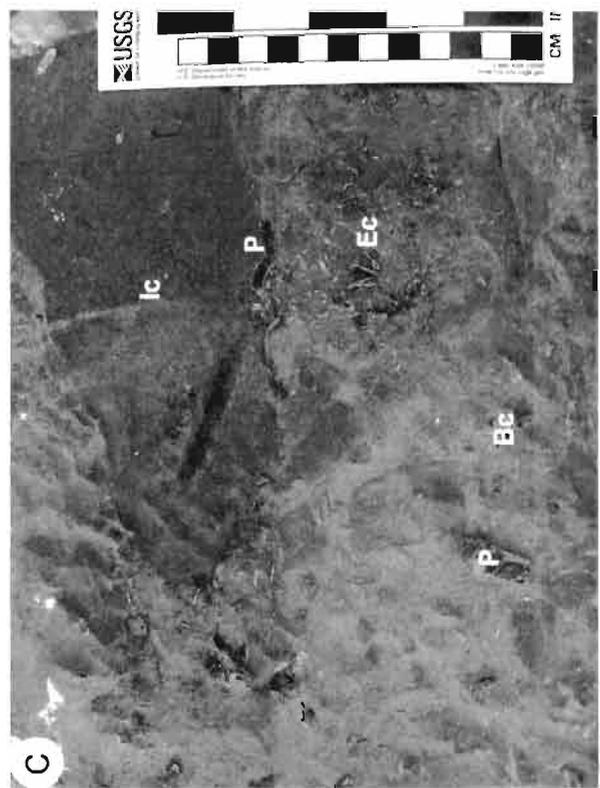
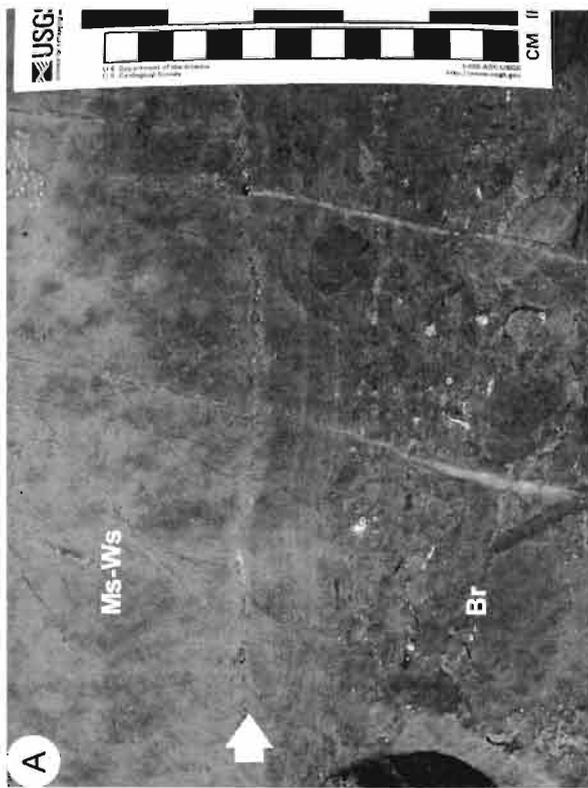
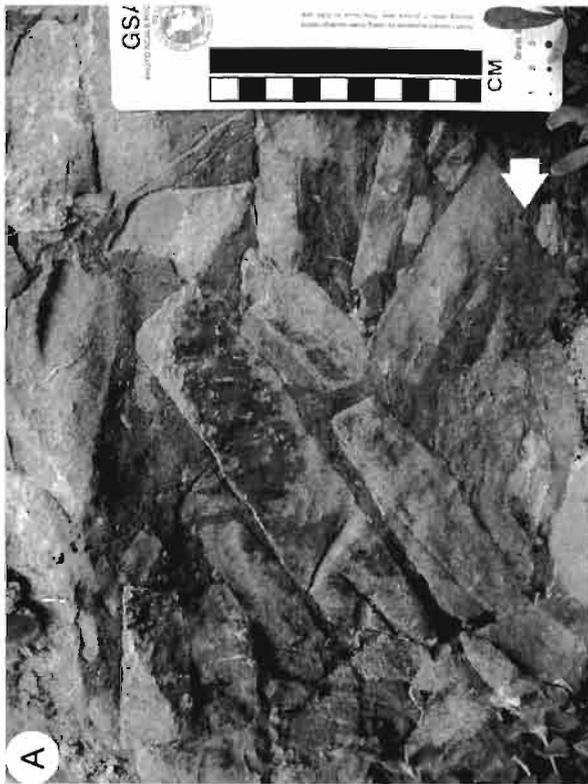
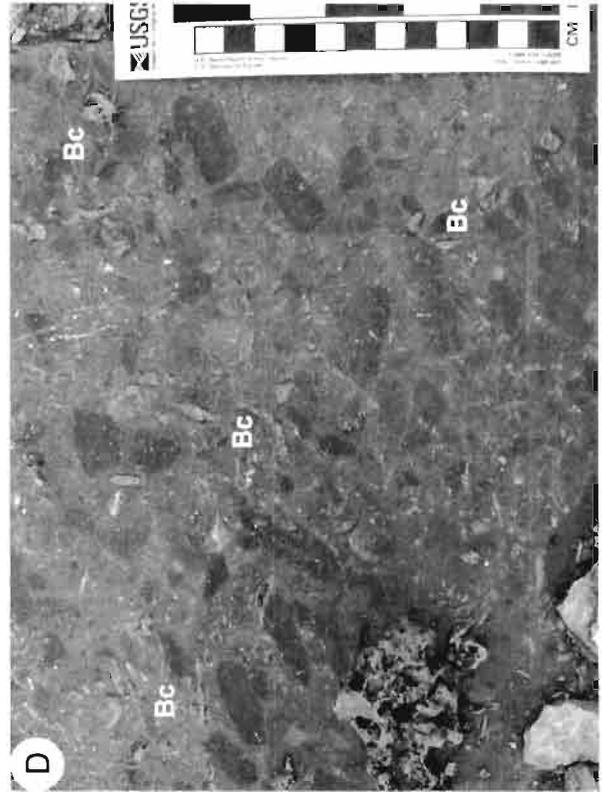
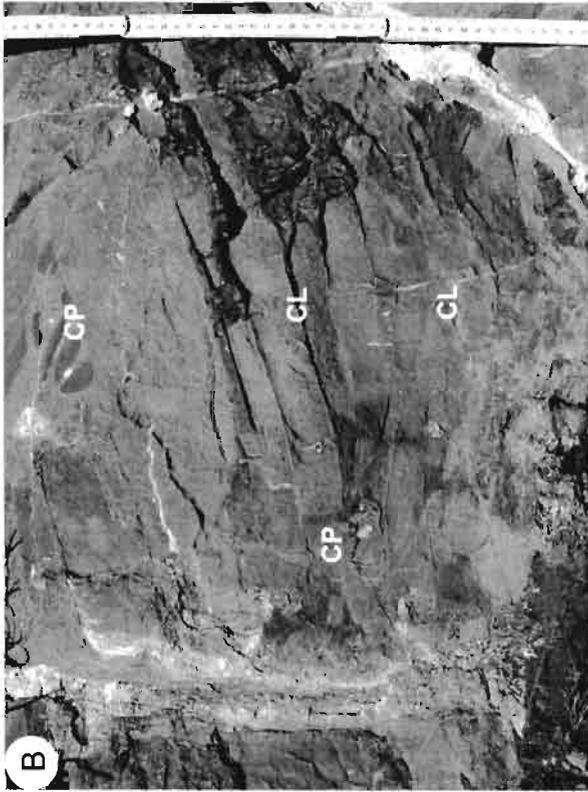


Lámina 12



## 2. ESTUDIO GRANULOMÉTRICO DE LAS BRECHAS CALCÁREAS

### 2.1 Generalidades y antecedentes

Las características texturales más importantes de un depósito consolidado o sin consolidar son su granulometría, grado de selección, fábrica y estructuras sedimentarias; sin embargo, algunos patrones de distribución de frecuencia del tamaño de grano pueden arrojar información acerca del proceso o mecanismo de transporte y depositación de los flujos que los emplazaron.

El tamaño de los granos es determinado por varias técnicas; en el caso de sedimentos no consolidados y rocas desintegradas, sus componentes son comúnmente medidos a través de mallas, tamices u otros métodos de sedimentación; sin embargo, en sedimentos consolidados como es el caso de las brechas calcáreas estudiadas, donde el grado de cementación no permite su fraccionamiento para analizarlas de manera mecánica, fue necesaria la medición de sus componentes a través de métodos ópticos, es decir, mediante el uso de imágenes digitales.

Actualmente este método de trabajo en sedimentos carbonatados consolidados no se ha realizado en nuestro país, por lo que una parte del presente estudio está enfocado en el uso de imágenes digitales para llevar a cabo el análisis granulométrico de las brechas calcáreas y de este modo aportar información útil para la elaboración de un modelo de depósito del área de interés.

Para medir el diámetro de los componentes en el presente estudio, fue utilizada la escala de Wentworth-Udden (Apéndice 5), que es una escala geométrica extendiéndose desde  $<1/256$  mm a  $>256$  mm. Una modificación de esta escala es la escala de  $\phi$  (phi), la cual permite que datos de tamaño de grano puedan ser expresados en unidades de igual valor. El tamaño  $\phi$  (phi) es el logaritmo negativo de base 2 del tamaño de grano medido en milímetros (Krumbein, 1936).

En el presente estudio granulométrico, el análisis de los componentes abarcó intervalos de  $1\phi$ , analizando componentes con diámetros desde  $-9\phi$  ( $<512$  mm) hasta componentes mayores a  $-1\phi$  (2 mm), los componentes menores a esta fracción se consideraron como matriz y/o masa básica.

## 2.2 Metodología

Para llevar a cabo el estudio granulométrico de estos depósitos, fue necesario apoyarse en un método óptico, el cual consistió inicialmente en tomar fotografías en el campo de los afloramientos de las brechas, de la manera más perpendicular posible, para tratar de minimizar el error o deformación en las imágenes debido a la perspectiva y en laboratorio se tomaron fotografías de muestras en secciones pulidas. En todas las fotografías se utilizaron escalas gráficas (flexómetros y protractores) como referencia de la escala real en las fotografías.

Posteriormente se procedió a editar las fotografías digitales obtenidas (afloramientos y láminas delgadas), mediante el uso de un software para edición de imágenes, en el cual se ajustó el contraste y brillo de las imágenes para resaltar los componentes de la masa básica, así como el cortado de sus bordes para eliminar la deformación en estos últimos.

Las imágenes digitales corregidas fueron procesadas en un programa CAD Map, en donde se realizaron cálculos para insertarlas en una escala 1:1 en centímetros o milímetros, apoyándose siempre con la escala gráfica de la fotografía real.

Para calcular la frecuencia de los componentes se utilizaron dos métodos ópticos: 1) Para la fracción mayor a 4 mm se utilizó el método de áreas, el cual fue aplicado únicamente en fotografías a nivel afloramiento y consistió en la delimitación de los componentes completos mayores a esta fracción dentro de una área determinada, posterior a esto, los componentes fueron medidos en sus ejes mayores así como también su área; la sumatoria de las áreas correspondientes a cada Phi ( $\phi$ ) dio como resultado el área total de los componentes a la cual se le restó el área delimitada del afloramiento en la fotografía para obtener así el porcentaje de los componentes menores a 4 mm; y 2) Para la fracción entre 4 y 2 mm se utilizó el método de conteo de puntos, el cual fue utilizado principalmente en fotografías de láminas delgadas y ocasionalmente para componentes mayores a 4 mm en imágenes de las cimas de afloramientos, básicamente consistió en sobreponer una malla regular de puntos a la imagen, la distancia entre los puntos o nodos se determinó en base al diámetro del rasgo mayor en el caso de fotografías de afloramiento y en lámina delgada la distancia de separación entre estos fue de 2 mm,

finalmente se midió el diámetro mayor de los componentes interceptado en cada nodo y/o punto de medición.

En ambos métodos utilizados, los componentes incompletos, es decir, los componentes ubicados en los bordes de las fotografías que no muestran la totalidad de su área, no fueron tomados en cuenta en el conteo, además de que fueron restados al área total de interés en las fotografías de afloramientos para no alterar el análisis granulométrico en donde fue aplicado el método de áreas, salvo en algunos casos donde los componentes incompletos eran visibles casi en su totalidad o era visible su diámetro mayor, fueron tomados en cuenta en el análisis.

Los resultados obtenidos con ambos métodos de medición, fueron capturados en una hoja de Excel según la terminología de Wentworth y Udden (mm y unidades  $\phi$  respectivamente, Apéndice 5). A partir de estos resultados fue posible realizar el análisis estadístico, calculando únicamente los parámetros de moda, mediana (Md) (Inman, 1952), desviación estándar ( $\sigma$ ), skewness y kurtosis (Folk y Ward, 1957), mediante el uso del software gratuito de aplicación estadística llamado Kware SFT (Wohletz K., 2006) y por métodos gráficos, es decir, mediante el cálculo de percentiles a partir de una curva acumulativa graficada en una hoja probabilística, además de la resolución de formulas para calcular los parámetros estadísticos ya mencionados (Tabla 6.1 *in* Flügel, 2004). Los parámetros estadísticos obtenidos con ambos métodos presentaron mínimas diferencias entre ellos; sin embargo, se eligió trabajar con los resultados obtenidos por el método gráfico. En el Apéndice 6 se muestran la clasificación de valores de desviación estándar (grado de selección), skewness y kurtosis obtenidos en el análisis estadístico.

## **2.3 Análisis granulométrico**

### **2.3.1 Localidad El Xoconoxtle**

En esta localidad fueron medidos tres afloramientos, los cuales se denominaron: Xoco01 cima y base (1.20 m espesor total), Xoco02 (0.55 m) y Xoco03 (0.50 m).

El análisis granulométrico de la base del afloramiento Xoco01 (Figura 7), muestra una curva bimodal (-7 y -1  $\phi$ ), predominando los componentes del tamaño de cantos pequeños (Md=-6.90  $\phi$ ). La base de este afloramiento presenta un grado de

selección muy pobre ( $\sigma=2.38 \phi$ ). El skewness es positivo (0.57) originando un ligero arrastre de la curva normal hacia la izquierda e indica un ligero exceso de material fino. La kurtosis es platicúrtica, lo que nos sugiere una alta dispersión en el tamaño de grano evidenciado por la presencia de bloques ( $>8 \phi$ ) y material fino.

El análisis de la cima del afloramiento Xoco01 (Figura 8), presenta dos modas (-5 y  $-1 \phi$ ), predominando los componentes del tamaño de guijarros finos ( $Md=-2.70 \phi$ ). El grado de selección es pobre ( $\sigma=1.93 \phi$ ). El valor de skewness es ligeramente negativo (-0.58) originando un arrastre de la curva normal hacia la derecha e indica un exceso de material grueso. La kurtosis es muy platicúrtica, es decir, existe una alta dispersión en el tamaño de grano.

El afloramiento Xoco02 (Figura 9), presenta una curva polimodal (-8, -6, y  $-1 \phi$ ), siendo los componentes del tamaño de cantos o guijas pequeñas los que predominan ( $Md=-6.15 \phi$ ). El grado de sorteamiento es muy pobre ( $\sigma=2.54 \phi$ ). El valor de skewness es positivo (0.35) originando un arrastre de la curva normal hacia la izquierda e indica un exceso de material fino. El valor de kurtosis es muy platicúrtica, indicando un nivel más alto de dispersión del tamaño de grano, evidenciado por la muy mala selección de este afloramiento.

Finalmente, el afloramiento Xoco03 (Figura 10), presentó dos modas (-6 y  $-2 \phi$ ), predominando componentes del tamaño de guijarros gruesos ( $Md=-4.25 \phi$ ). El grado de selección de este afloramiento es pobre ( $\sigma=1.92 \phi$ ). El skewness es negativo casi tendiendo a cero (-0.05), indicando un equilibrio entre el material fino y el grueso. La kurtosis es muy platicúrtica, indicando una alta dispersión del tamaño de grano.

### 2.3.2 Localidad Armadillo de Los Infante

En esta localidad solo se midió un afloramiento, al cual se le denominó Armadillo01. El análisis granulométrico de este afloramiento (Figura 11), presentó solo una moda ( $-3 \phi$ ), siendo el diámetro medio de los componentes del tamaño de guijarros ( $Md=-3.30 \phi$ ). Este afloramiento presenta un grado de selección moderado a casi bien moderado ( $\sigma=0.88 \phi$ ). El skewness es positivo (0.11) originando un

arrastre de la curva normal hacia la izquierda e indica un ligero exceso de material fino. La kurtosis es mesocúrtica, es decir, existe una dispersión media o regular en el tamaño de grano lo que refleja la moderada selección de la brecha.

### 2.3.3 Localidad San Antonio de Eguía

En esta localidad fueron sometidos a medición dos afloramientos, a los que se denominó Eguía01 y Eguía02. El análisis de afloramiento Eguía01 (Figura 12), muestra una curva unimodal ( $-4 \phi$ ) coincidiendo con el diámetro promedio que predomina en este afloramiento, siendo este del tamaño de guijarros gruesos ( $Md=-4.80 \phi$ ). El grado de selección es pobre ( $\sigma=1.18 \phi$ ). El skewness es positivo casi tendiendo a cero (0.16) originando un arrastre de la curva hacia la izquierda e indica un ligero exceso de material fino. La kurtosis es leptocúrtica, es decir, existe una baja dispersión en el tamaño de grano, la cual coincide con la desviación estándar.

A diferencia del afloramiento ya mencionado, el análisis granulométrico del afloramiento Eguía02 (Figura 13) ubicado a escasos metros del primero, muestra una curva bimodal ( $-6$  y  $-1 \phi$ ), dominando los componentes del tamaño de cantos o guijas pequeñas ( $Md=-6.10 \phi$ ). El grado de selección del depósito es pobre ( $\sigma=1.80 \phi$ ). El skewness es positivo (0.52) indicando un exceso de material fino. La kurtosis es leptocúrtica, lo que indica una baja dispersión en el tamaño de grano en relación al diámetro medio.

### 2.3.4 Localidad El Coro

En la brecha calcárea que aflora en la sierra de El Coro (Figura 1), fue analizada la granulometría de la parte media (Coro01media) y cima (Coro01cima) de la misma. El análisis granulométrico realizado en un afloramiento de la parte media de esta brecha (Figura 14), muestra una curva bimodal ( $-8$  y  $-2 \phi$ ), prevaleciendo los componentes del tamaño de cantos y/o guijas finas ( $Md=-6.80 \phi$ ). Esta parte del afloramiento presenta un grado de sorteamiento muy pobre ( $\sigma=2.51 \phi$ ). El skewness presenta un valor positivo (0.54) originando un arrastre de la curva normal hacia la izquierda, indicando un exceso de material fino. La kurtosis es muy platicúrtica,

confirmando la considerable dispersión en el tamaño de los componentes, llegando a encontrar bloques mayores de 256 mm en esta parte de la brecha.

El análisis realizado hacia la cima (Figura 15), presenta una curva unimodal ( $-4 \phi$ ), sobresaliendo la presencia de gujarros de tamaño medio ( $Md=-3.85 \phi$ ). El grado de sorteo es pobre casi tendiendo a moderado ( $\sigma=1.24 \phi$ ). El skewness es ligeramente positivo (0.17), indicando un exceso de material fino. La kurtosis es platicúrtica evidenciando una dispersión regular en el tamaño de los componentes.

### 2.3.5 Localidad Corazones

En esta localidad el análisis granulométrico fue realizado en dos afloramientos diferentes, a los que se les denominó Corazones01 y Corazones02, los cuales fueron divididos en tres partes cada uno debido a su espesor (ambos de  $\pm 14$  m). Cabe mencionar, que el afloramiento Corazones01 fue considerado como la parte distal del flujo y el afloramiento Corazones02 como parte proximal del flujo que formó esta brecha, en relación a la distancia relativa con respecto a la PVSLP.

El análisis de la base del afloramiento Corazones01 (Figura 16), muestra una curva bimodal ( $-7$  y  $-2 \phi$ ), siendo el diámetro medio que predomina poco mayor al tamaño de cantos y/o guijas grandes ( $Md=-7.10 \phi$ ). El grado de selección es pobre tendiendo a muy pobre ( $\sigma=1.95 \phi$ ). El valor de skewness es positivo (0.57) indicando un exceso en partículas finas. La kurtosis es mesocúrtica, lo que indica una considerable distribución del tamaño de los componentes.

La parte media del afloramiento Corazones01 (Figura 17), muestra una curva polimodal ( $-7$ ,  $-5$  y  $-2 \phi$ ), sobresaliendo componentes del tamaño de pequeños cantos pequeños ( $Md=-6.20 \phi$ ). El grado de selección es pobre ( $\sigma=1.80 \phi$ ). El skewness presenta un valor positivo (0.52) indicando un exceso de partículas finas. La kurtosis es platicúrtica, evidenciando una alta distribución en el tamaño de los clastos.

La cima del afloramiento Corazones01 (Figura 18), fue analizada mediante el método de conteo de puntos (Capítulo 2.2), presentando solo una moda ( $-2 \phi$ ), predominado los componentes del tamaño de gujarros finos ( $Md=-2.50 \phi$ ). El grado de sorteo en la cima de este afloramiento cambia considerablemente a moderado, tendiendo a bien moderado ( $\sigma=0.74 \phi$ ). El valor de skewness es lige-

ramente negativo (-0.26), originando un mínimo arrastre de la curva normal hacia la derecha, mostrando un ligero exceso de material grueso. La kurtosis es platicúrtica tendiendo a mesocúrtica, resultado de la regular distribución del tamaño de los componentes.

El análisis realizado en la base del afloramiento Corazones02 (Figura 19), muestra una distribución del tamaño de grano polimodal (-8, -5 y -1  $\phi$ ), predominando componentes del tamaño de guijarros muy gruesos (Md=-5.80  $\phi$ ). El grado de selección en esta parte de la brecha es muy pobre tendiendo a pobre ( $\sigma=2.05 \phi$ ). El skewness presenta un valor casi igual a cero (0.05) indicando un equilibrio entre la cantidad de material grueso y material fino. La kurtosis es platicúrtica, reafirmando los valores de mala selección del depósito.

En la parte media de este afloramiento (Figura 20), presenta solo una moda (-5  $\phi$ ), siendo el diámetro medio que prevalece, del tamaño de guijarros muy gruesos (Md=-5.55  $\phi$ ) y un grado de selección de moderado ( $\sigma=0.83 \phi$ ). El skewness es positivo (0.35) originando un arrastre de la curva normal hacia la izquierda, indicando un exceso de material fino. La kurtosis es mesocúrtica, indicando una distribución de grano normal, respaldando la moderada selección del depósito.

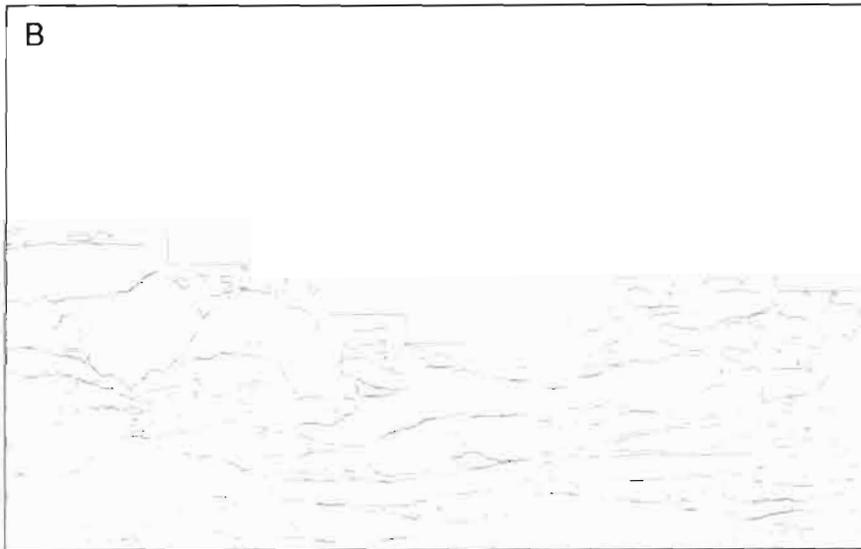
Finalmente, el análisis efectuado en la cima del afloramiento Corazones02 (Figura 21), presentó una curva de distribución polimodal (-7, -5 y -1  $\phi$ ), siendo los clastos del tamaño de guijarros muy gruesos (Md=-5.36  $\phi$ ) los que predominan hacia la cima. El grado de selección es pobre ( $\sigma=1.85 \phi$ ). El valor de skewness es positivo (0.21), provocando un arrastre de la curva normal hacia la izquierda, lo que demuestra un tenue exceso de partículas finas. La kurtosis es platicúrtica, lo que demuestra una alta dispersión en el tamaño de los componentes, respaldado por la mala selección de la cima.

### 2.3.6 Localidad Rincón de Leijas

En esta localidad fueron estudiados cuatro afloramientos, de los cuales uno aflora en el Cerro El Meco (LeijasMeco01 cima y base) y tres más en el Cerro La Santa Cruz (LeijasSC01, 02 cima-base y 03).

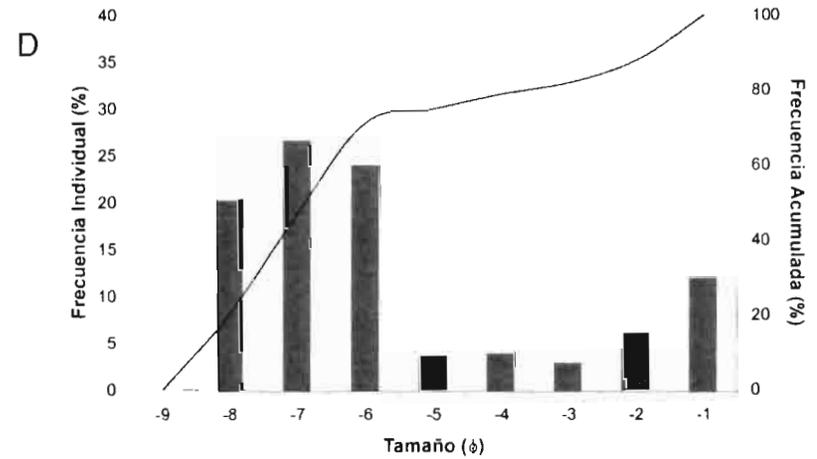
El grado de selección hacia la cima es pobre ( $\sigma=1.18 \phi$ ). El skewness es negativo casi tendiendo a cero (-0.12), provocando un arrastre de la curva normal hacia la derecha, resultado de un exceso mínimo de componentes gruesos. La kurtosis es leptocúrtica, indicando la baja dispersión del tamaño de grano.

Finalmente, el análisis realizado en el afloramiento LeijasSC03 (Figura 27), presentó una distribución bimodal (-6 y -2  $\phi$ ), predominando clastos del tamaño de guijarros muy gruesos ( $Md=-5.50 \phi$ ). El grado de selección de este afloramiento es pobre ( $\sigma=1.79 \phi$ ). El skewness es positivo (0.45), indicando un exceso de material fino. La kurtosis es platicúrtica, lo que significa una alta a media dispersión del tamaño de los componentes en esta brecha.



**C**

Xoco01base		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	20.326	20.326
-7	26.729	47.055
-6	24.099	71.154
-5	3.666	74.821
-4	4.010	78.831
-3	3.024	81.855
-2	6.048	87.903
-1	12.097	100



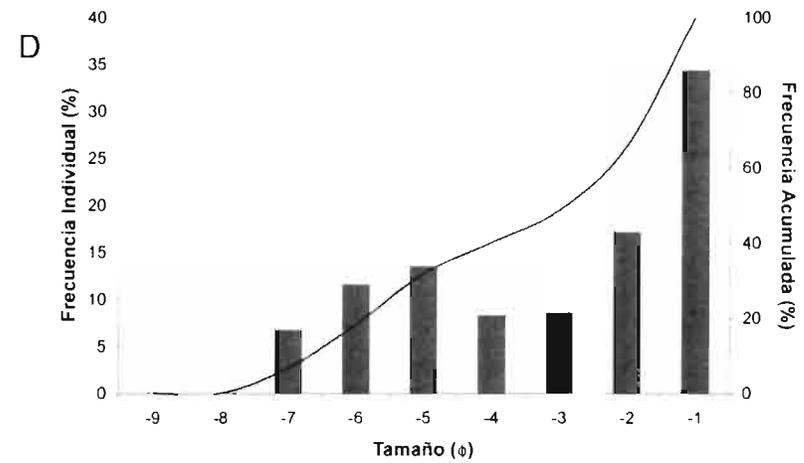
**E**

	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-7 y -1	-6.88	2.50	0.50	1.05
Metodo gráfico	-7 y -1	-6.90	2.38	0.57	0.89

**Figura 7.** Análisis granulométrico del afloramiento Xoco01base. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.

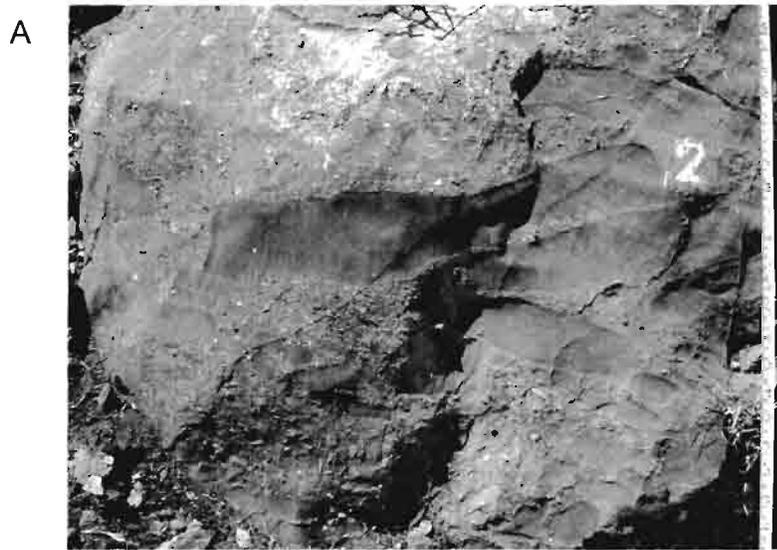


Xoco01cima		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	6.752	6.752
-6	11.531	18.283
-5	13.489	31.771
-4	8.244	40.016
-3	8.569	48.585
-2	17.138	65.723
-1	34.277	100



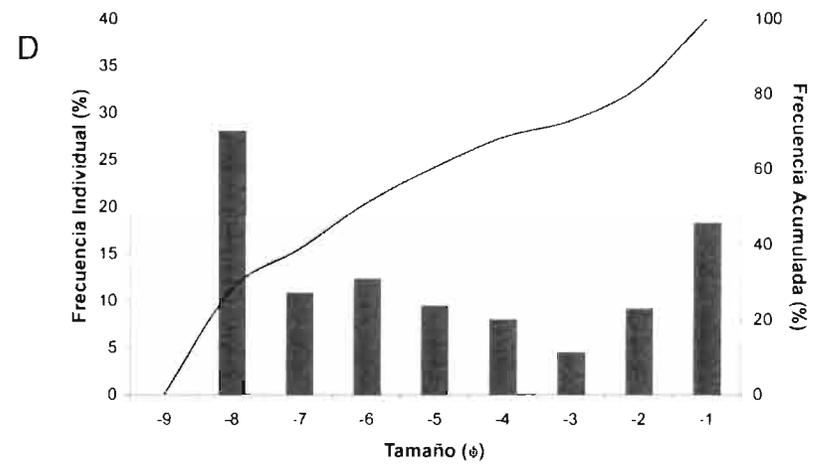
E	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-5 y -1	-2.92	2.11	-0.40	0.66
Metodo gráfico	-5 y -1	-2.70	1.93	-0.58	0.63

**Figura 8.** Análisis granulométrico del afloramiento Xoco01cima. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

Xoco02		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	27.937	27.937
-7	10.767	38.704
-6	12.262	50.966
-5	9.399	60.365
-4	7.954	68.319
-3	4.478	72.797
-2	9.068	81.865
-1	18.135	100



E

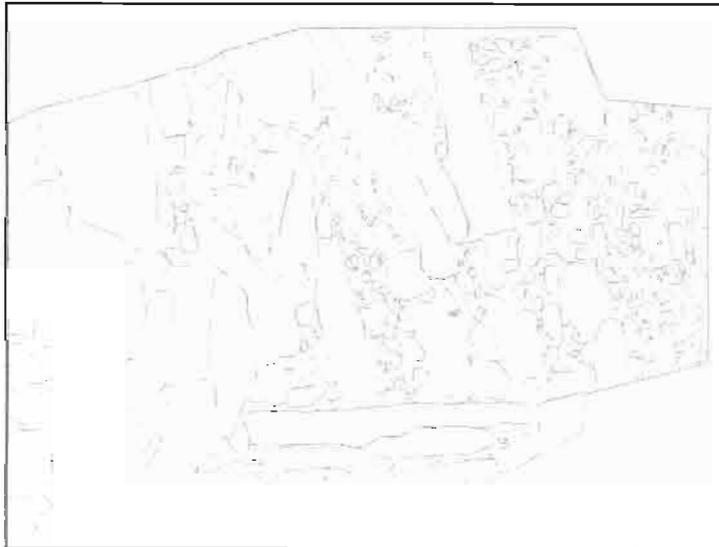
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-8, -6 y -1	-6.08	2.78	0.28	0.50
Método grafico	-8, -6 y -1	-6.15	2.54	0.35	0.51

**Figura 9.** Análisis granulométrico del afloramiento Xoco02. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.

A



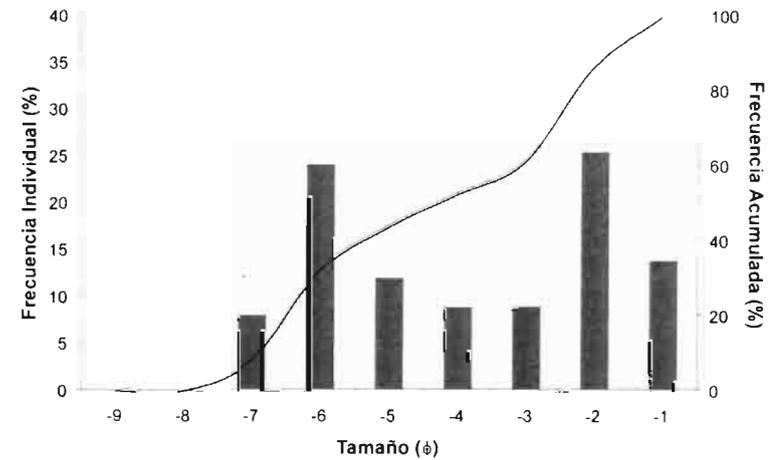
B



C

Xoco03		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	7.855	7.855
-6	23.938	31.793
-5	11.838	43.631
-4	8.711	52.343
-3	8.772	61.115
-2	25.223	86.338
-1	13.662	100

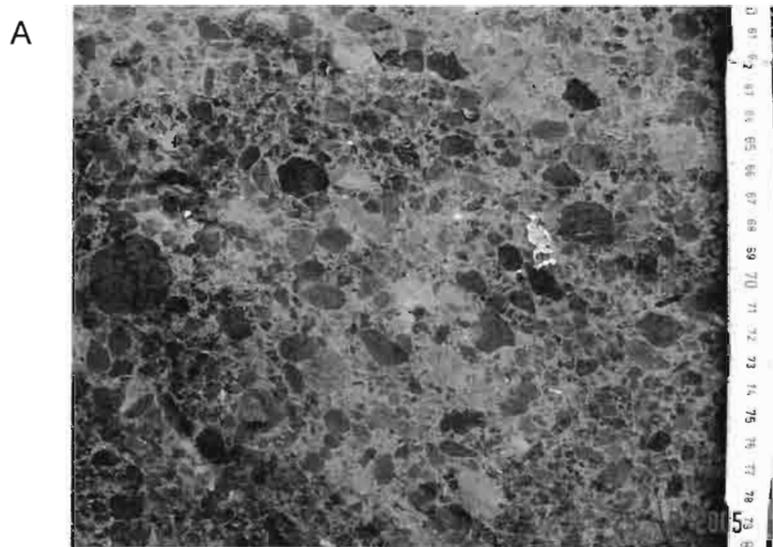
D



E

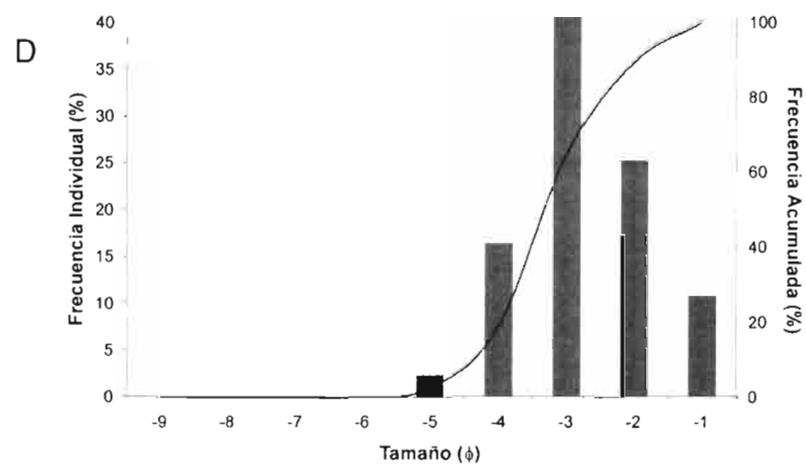
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-6 y -2	-5.04	1.85	0.14	0.61
Método gráfico	-6 y -2	-4.25	1.92	-0.05	0.59

**Figura 10.** Análisis granulométrico del afloramiento Xoco03. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

Armadillo01		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	0	0
-6	0	0
-5	2.347	2.347
-4	16.248	18.595
-3	45.714	64.309
-2	25.029	89.338
-1	10.662	100



E

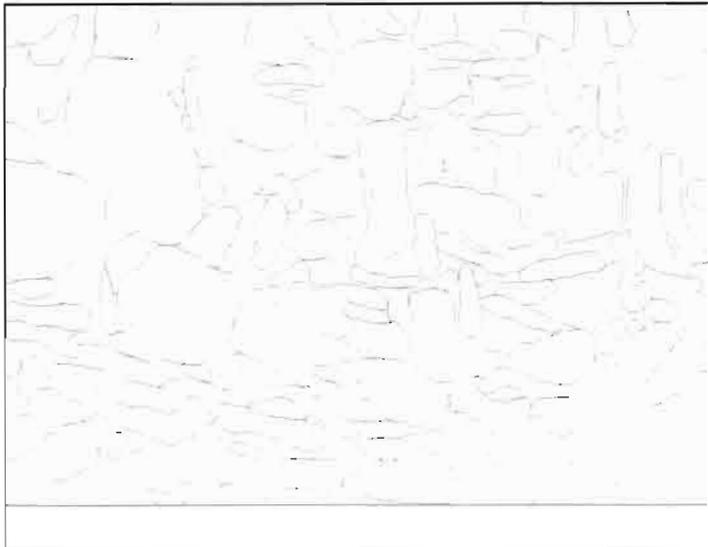
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-3	-3.31	1.00	0.11	1.07
Método gráfico	-3	-3.30	0.88	0.11	1.01

**Figura 11.** Análisis granulométrico del afloramiento Armadillo01 (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.

A



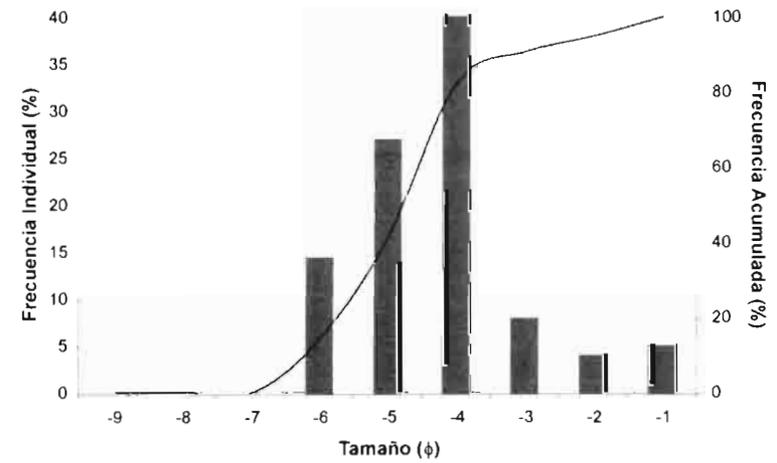
B



C

Eguía01		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	0	0
-6	14.605	14.605
-5	27.200	41.805
-4	40.791	82.595
-3	8.086	90.681
-2	4.142	94.823
-1	5.177	100

D



E

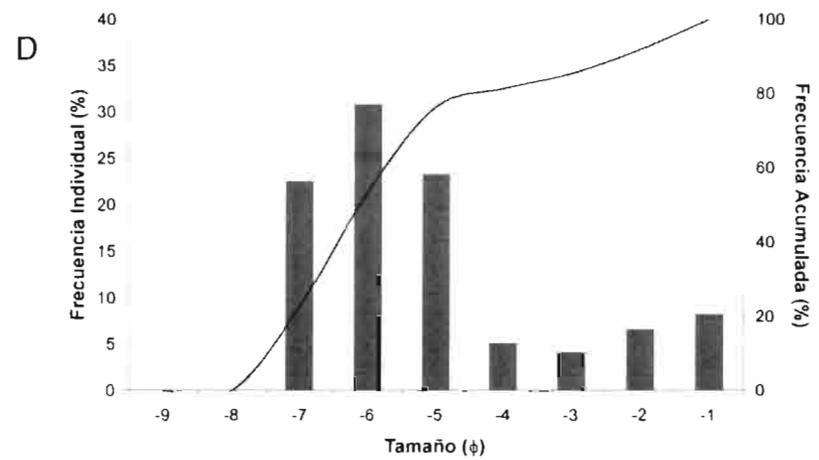
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-4	-4.80	1.24	0.06	1.34
Método gráfico	-4	-4.80	1.18	0.16	1.28

**Figura 12.** Análisis granulométrico del afloramiento Eguía01 (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

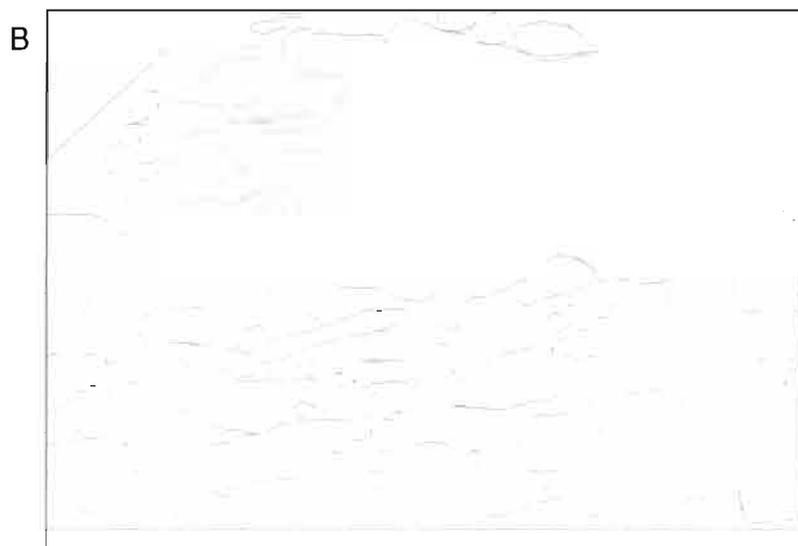
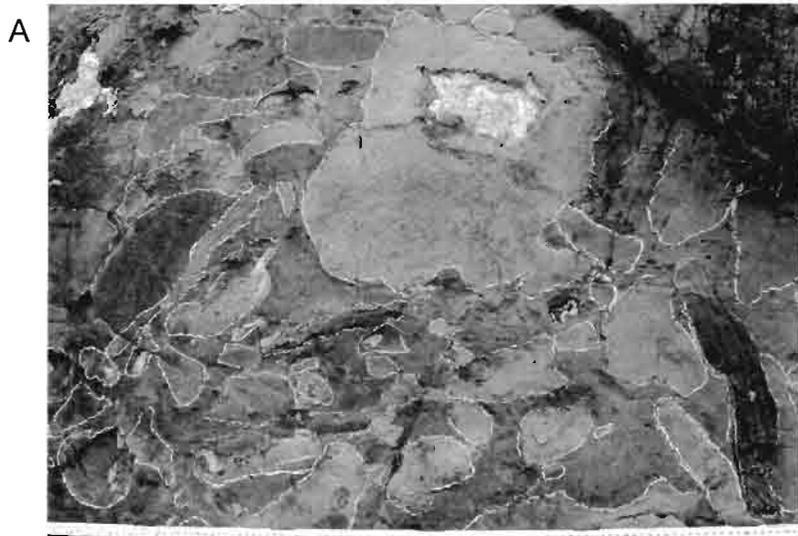
Eguía02		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	22.426	22.426
-6	30.679	53.104
-5	23.180	76.284
-4	5.036	81.320
-3	4.065	85.385
-2	6.495	91.881
-1	8.119	100



E

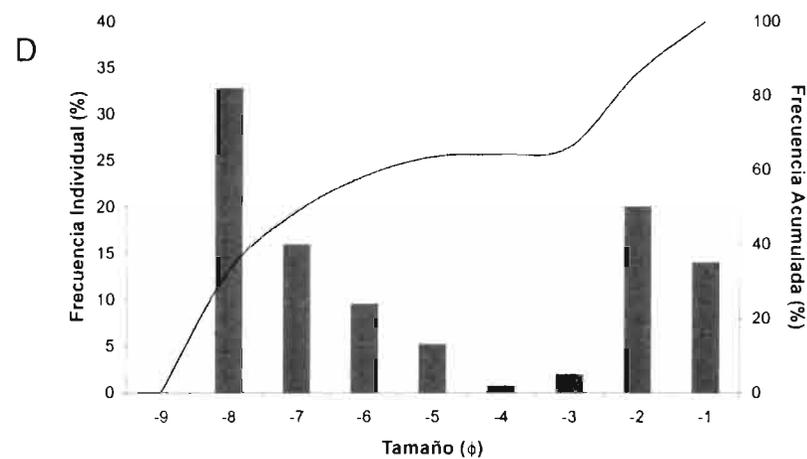
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-6 y -1	-6.10	1.92	0.43	1.36
Metodo gráfico	-6 y -1	-6.10	1.80	0.52	1.24

**Figura 13.** Análisis granulométrico del afloramiento Eguía02. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

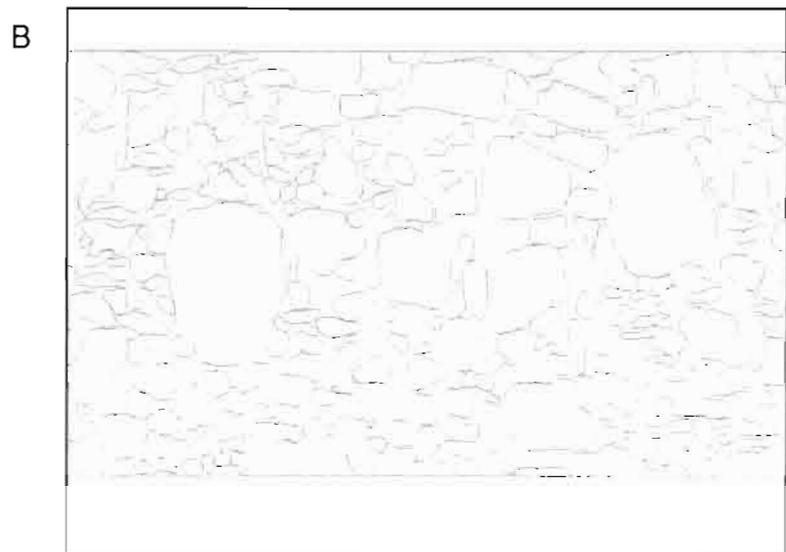
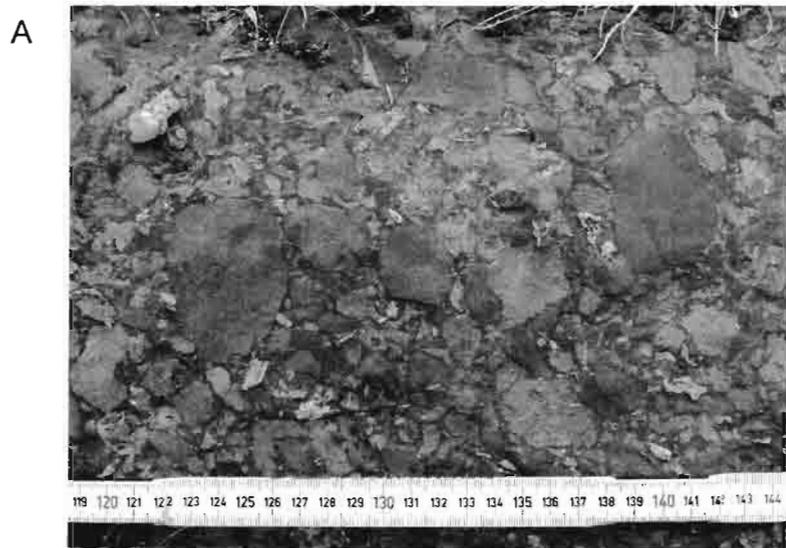
Coro01media		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	32.707	32.707
-7	15.903	48.610
-6	9.539	58.149
-5	5.216	63.365
-4	0.717	64.082
-3	1.995	66.077
-2	19.955	86.032
-1	13.968	100



E

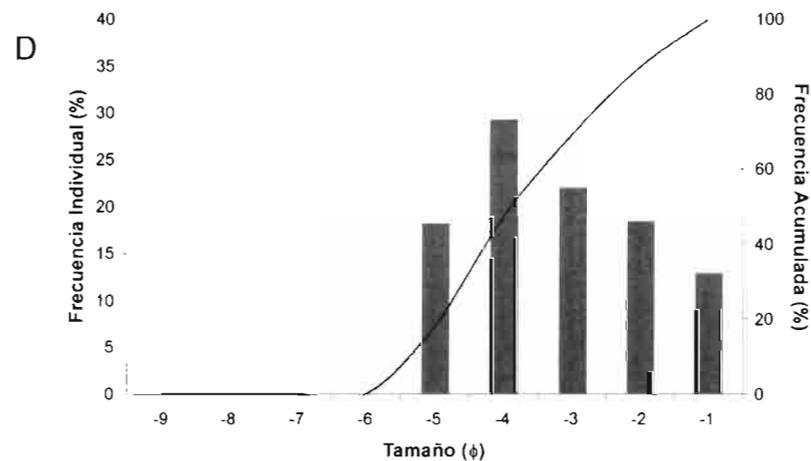
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-8 y -2	-6.85	2.74	0.48	0.54
Método gráfico	-8 y -2	-6.80	2.51	0.54	0.49

**Figura 14.** Análisis granulométrico del afloramiento Coro01media. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

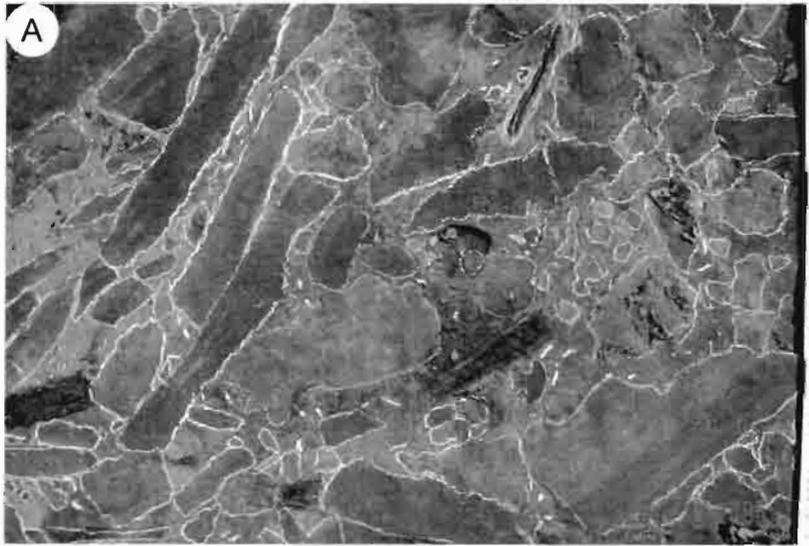
Coro01cima		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	0	0
-6	0	0
-5	18.000	18.000
-4	29.142	47.142
-3	21.872	69.014
-2	18.227	87.241
-1	12.759	100



E

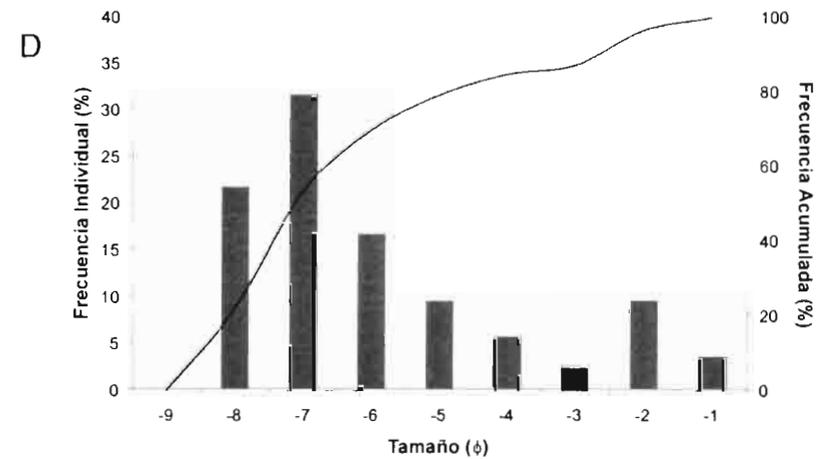
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-4	-3.87	1.39	0.15	0.85
Método grafico	-4	-3.85	1.24	0.17	0.71

**Figura 15.** Análisis granulométrico del afloramiento Coro01cima. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



**C**

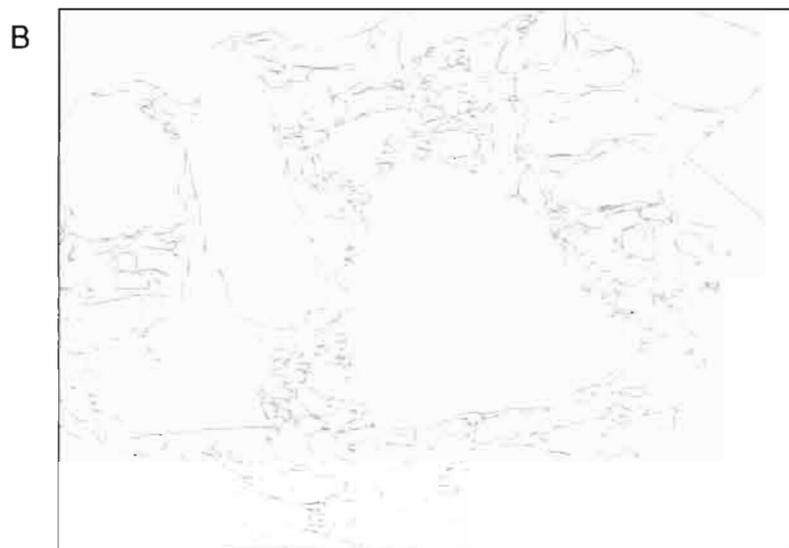
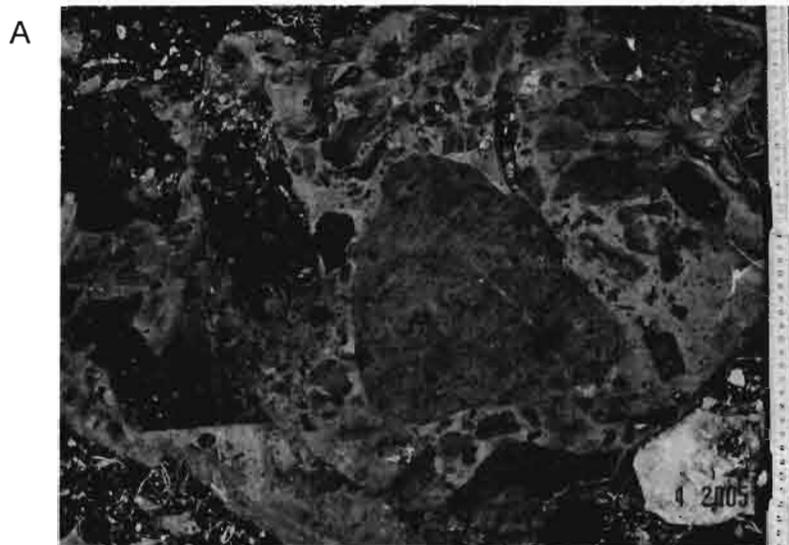
Corazones01base		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	21.611	21.611
-7	31.525	53.136
-6	16.595	69.732
-5	9.377	79.108
-4	5.558	84.666
-3	2.460	87.126
-2	9.429	96.555
-1	3.445	100



**E**

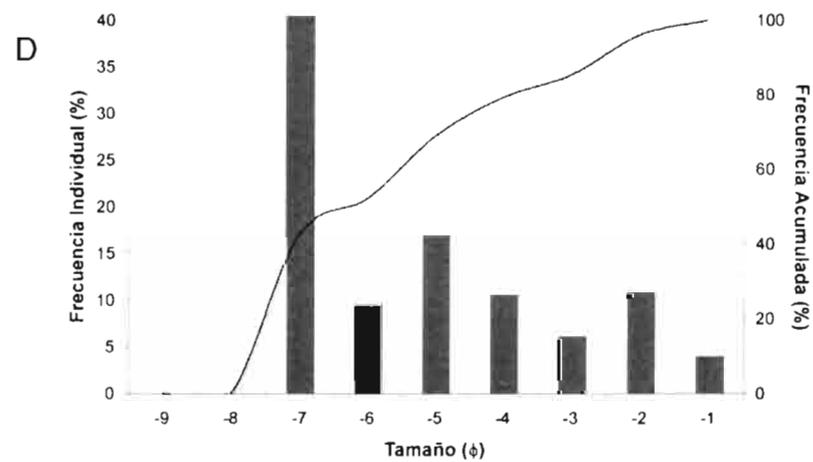
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-7 y -2	-7.10	2.04	0.47	1.10
Método gráfico	-7 y -2	-7.10	1.95	0.57	1.03

**Figura 16.** Análisis granulométrico del afloramiento Corazones01base. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

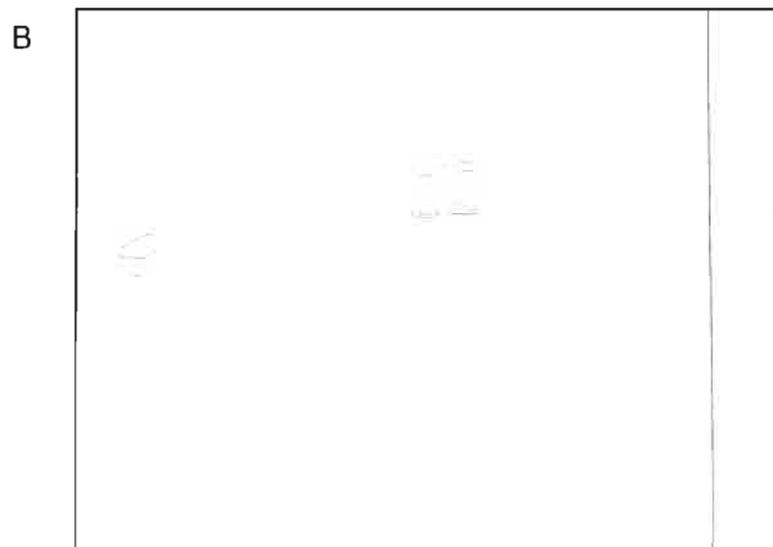
Corazones01media		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	42.766	42.766
-6	9.440	52.206
-5	16.719	68.926
-4	10.423	79.348
-3	6.031	85.379
-2	10.708	96.087
-1	3.913	100



E

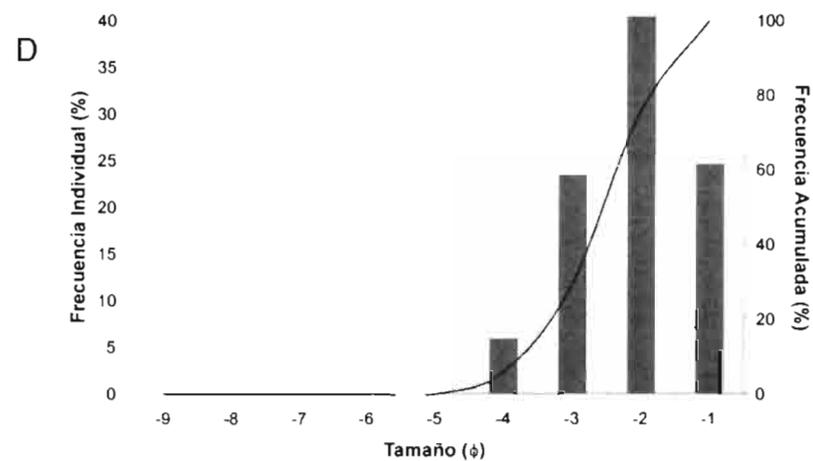
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-7, -5 y -2	-6.23	1.98	0.40	0.79
Método gráfico	-7, -5 y -2	-6.20	1.80	0.52	0.79

**Figura 17.** Análisis granulométrico del afloramiento Corazones01media. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

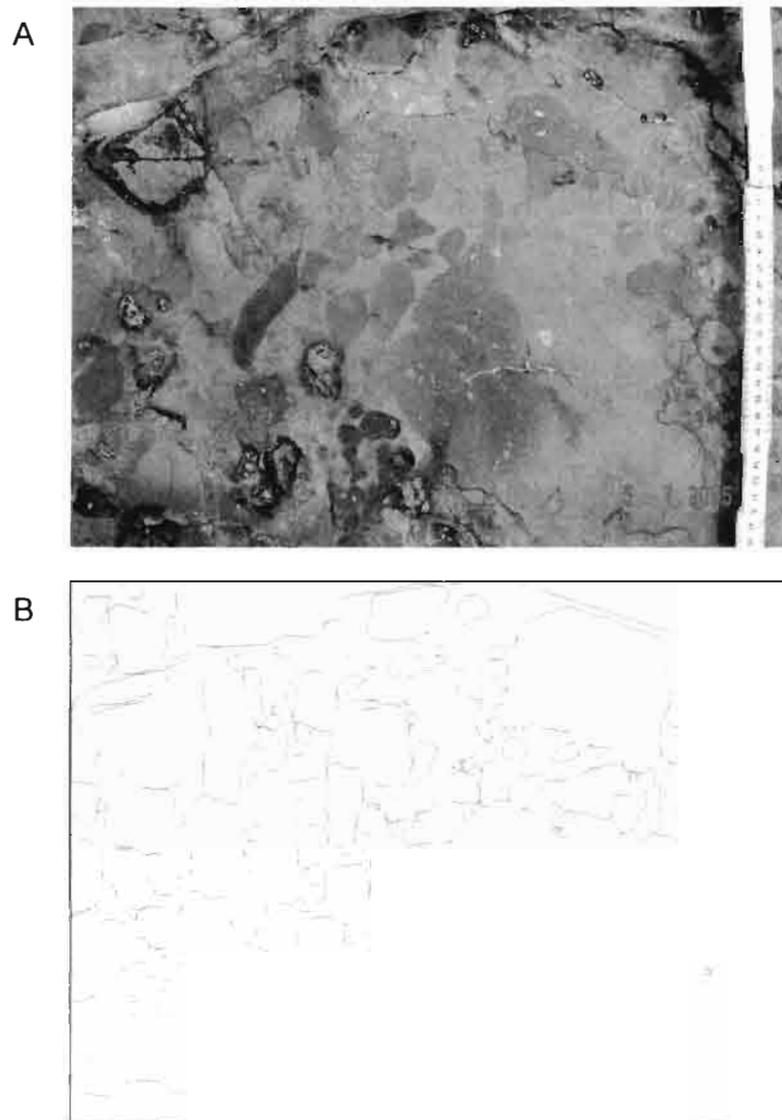
Corazones01cima		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	0	0
-6	0	0
-5	0	0
-4	5.814	5.814
-3	23.256	29.070
-2	46.512	75.581
-1	24.419	100



E

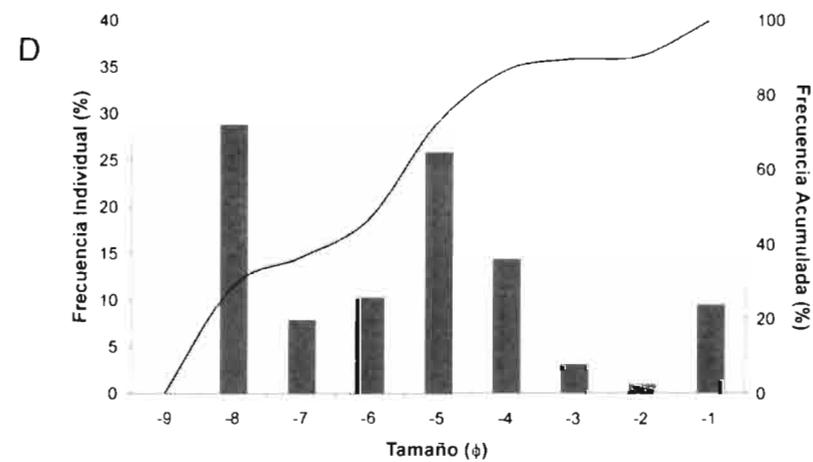
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-2	-2.55	0.92	-0.07	1.03
Método gráfico	-2	-2.50	0.74	-0.26	0.86

**Figura 18.** Análisis granulométrico del afloramiento Corazones01cima. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



**C**

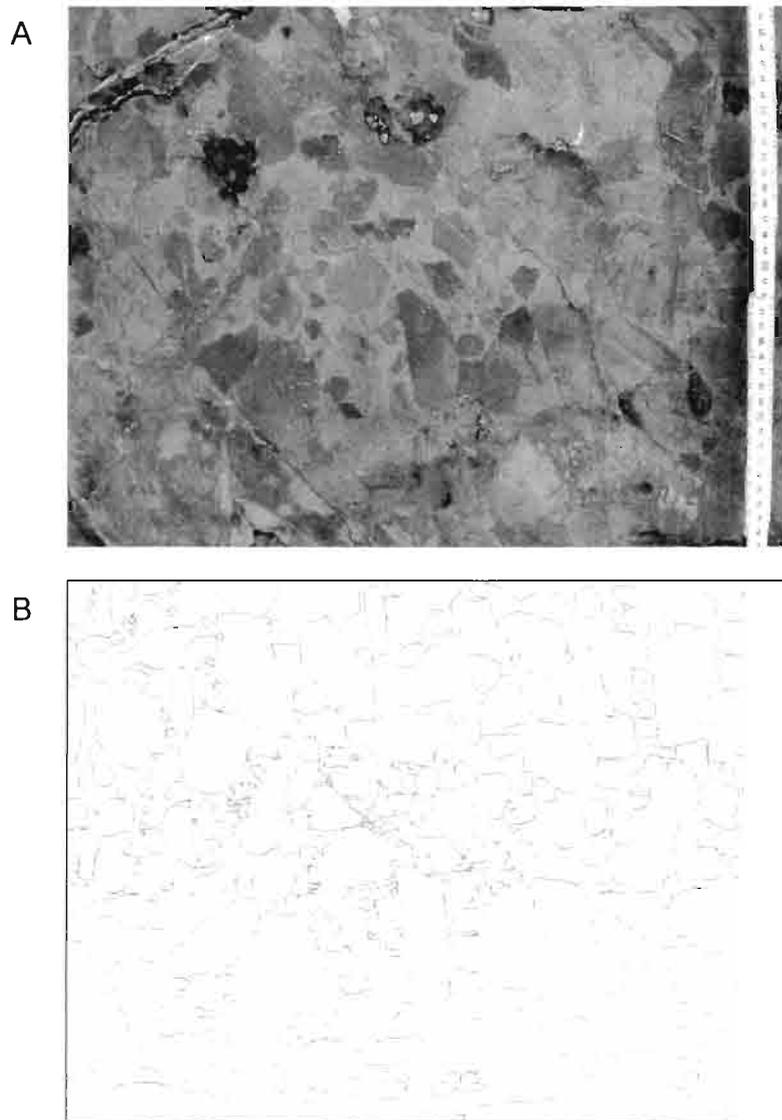
Corazones02base		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	28.654	28.654
-7	7.815	36.469
-6	10.224	46.694
-5	25.717	72.411
-4	14.271	86.681
-3	3.025	89.706
-2	0.902	90.609
-1	9.391	100



**E**

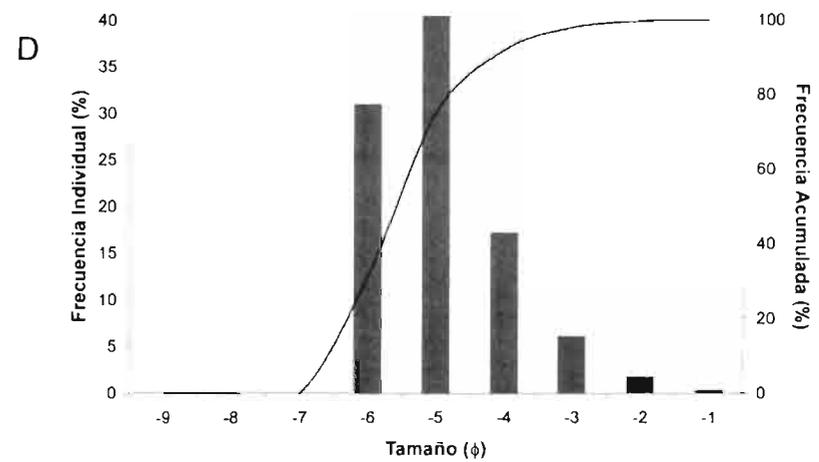
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-8, -5 y -1	-5.87	2.17	-0.01	0.90
Método grafico	-8, -5 y -1	-5.80	2.05	0.05	0.88

**Figura 19.** Análisis granulométrico del afloramiento Corazones02base. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



**C**

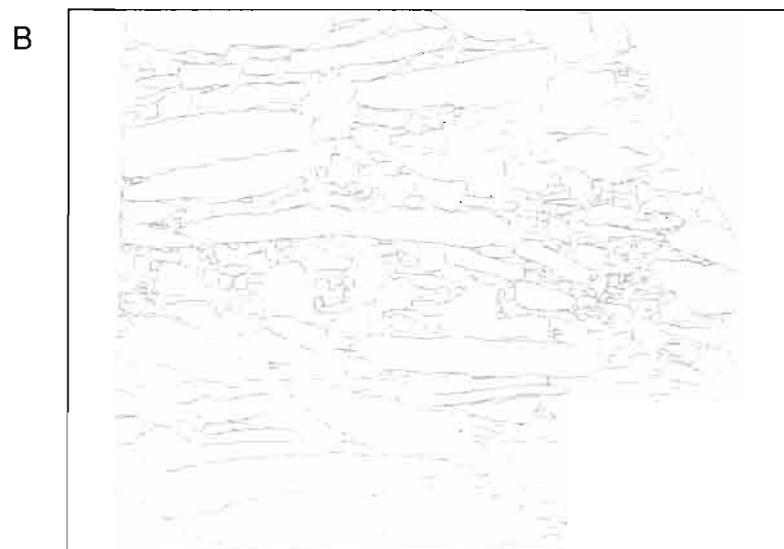
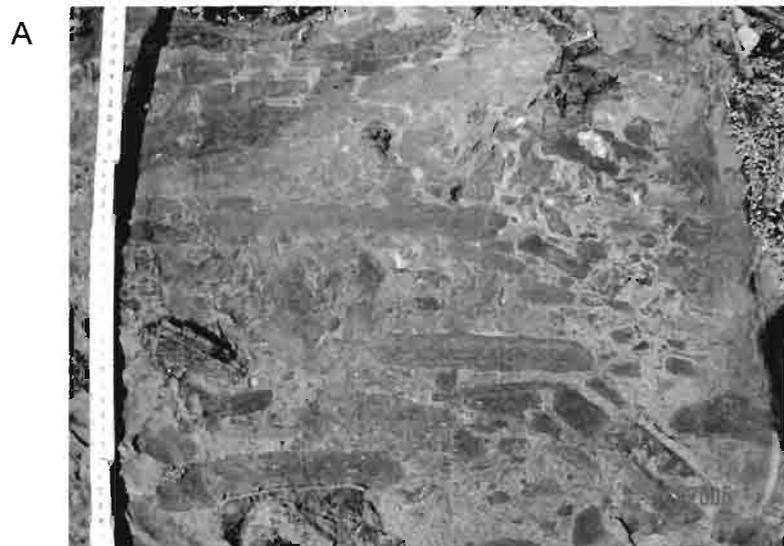
Corazones02media		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	0	0
-6	30.828	30.828
-5	43.872	74.699
-4	17.173	91.872
-3	6.034	97.906
-2	1.750	99.656
-1	0.344	100



**E**

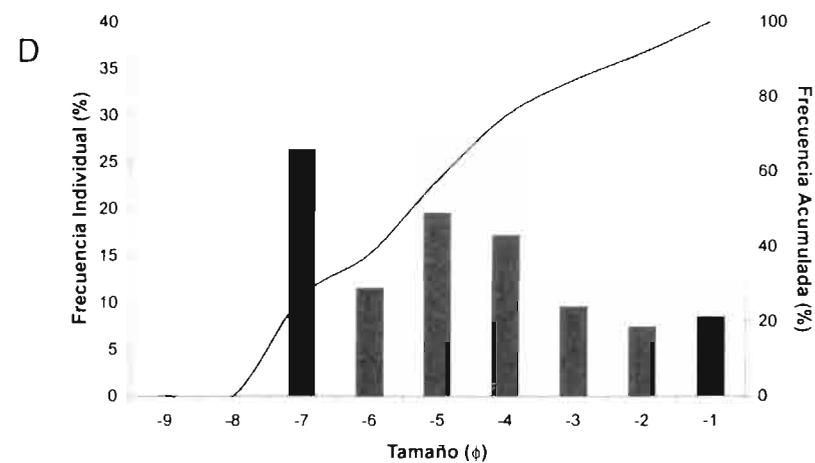
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-5	-5.56	1.01	0.17	1.14
Método gráfico	-5	-5.55	0.83	0.35	0.98

**Figura 20.** Análisis granulométrico del afloramiento Corazones02media. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

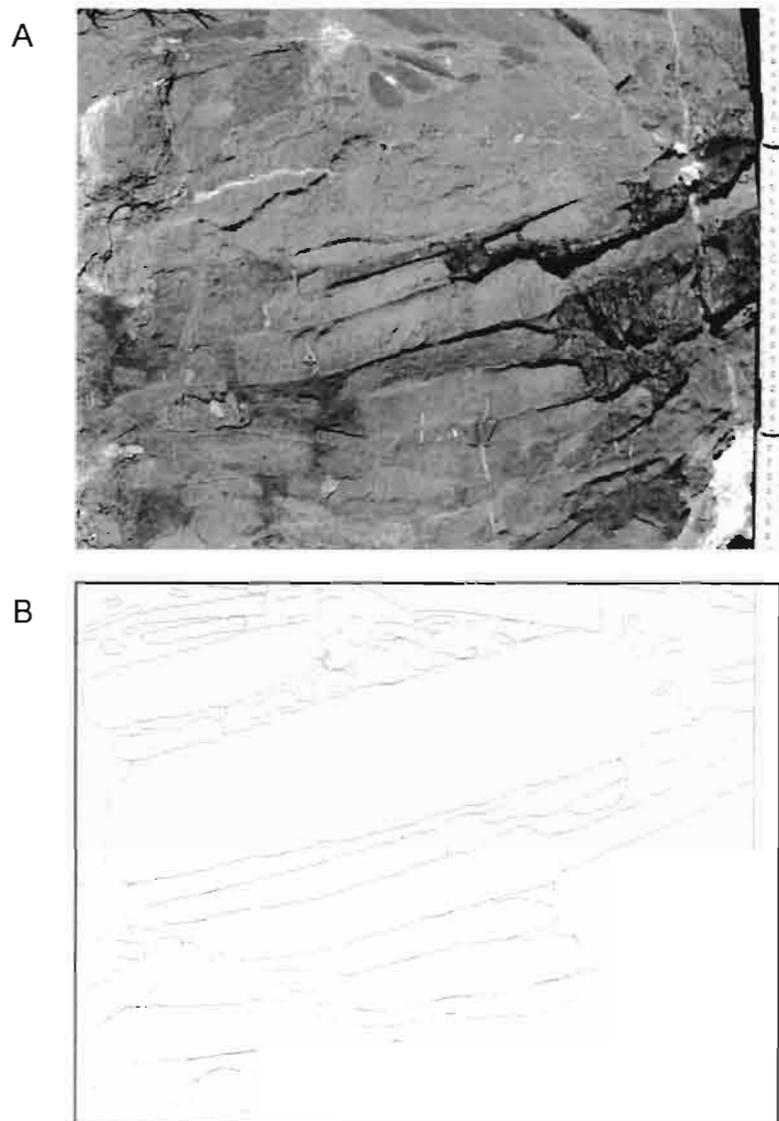
Corazones02cima		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	26.450	26.450
-6	11.453	37.903
-5	19.571	57.475
-4	17.194	74.669
-3	9.517	84.186
-2	7.342	91.528
-1	8.472	100



E

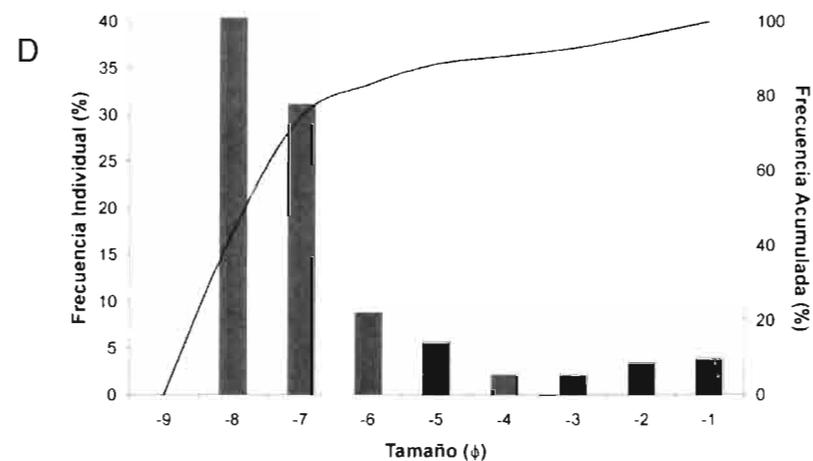
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-7, -5 y -1	-5.38	2.04	0.15	0.83
Metodo gráfico	-7, -5 y -1	-5.36	1.85	0.21	0.71

**Figura 21.** Análisis granulométrico del afloramiento Corazones02cima. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



**C**

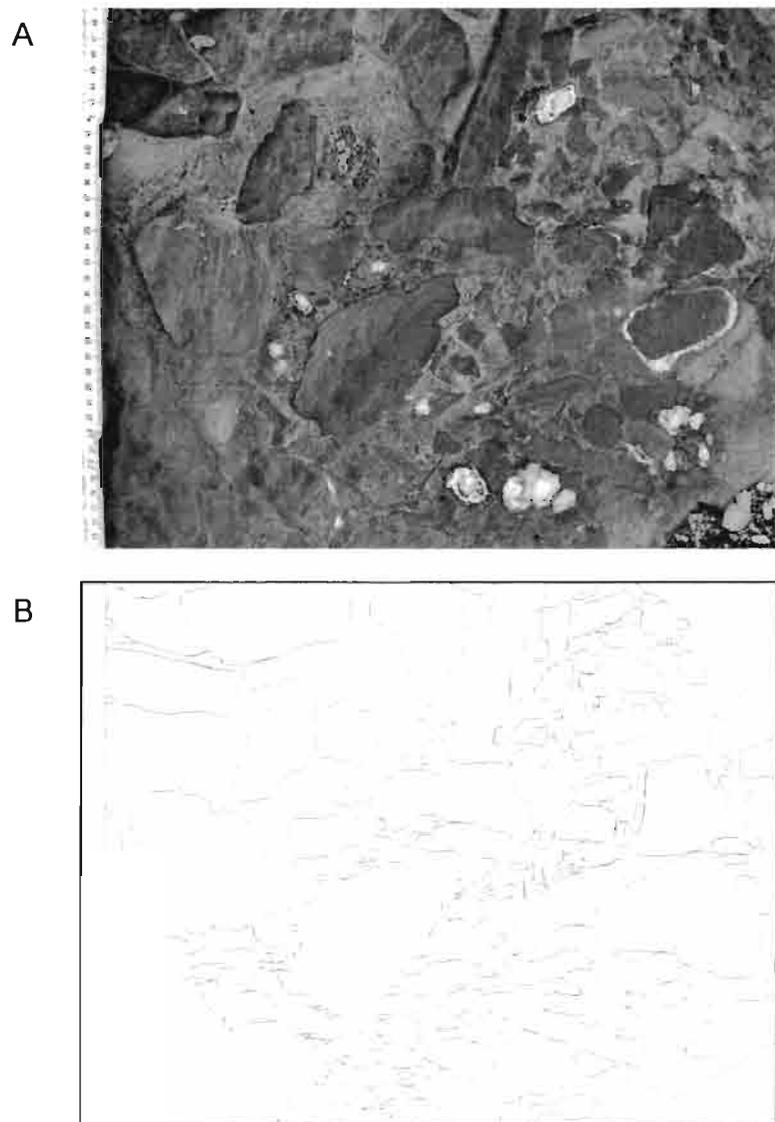
LeijasMeco01base		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	43.359	43.359
-7	31.053	74.412
-6	8.613	83.025
-5	5.566	88.591
-4	2.097	90.687
-3	2.117	92.804
-2	3.386	96.190
-1	3.810	100



**E**

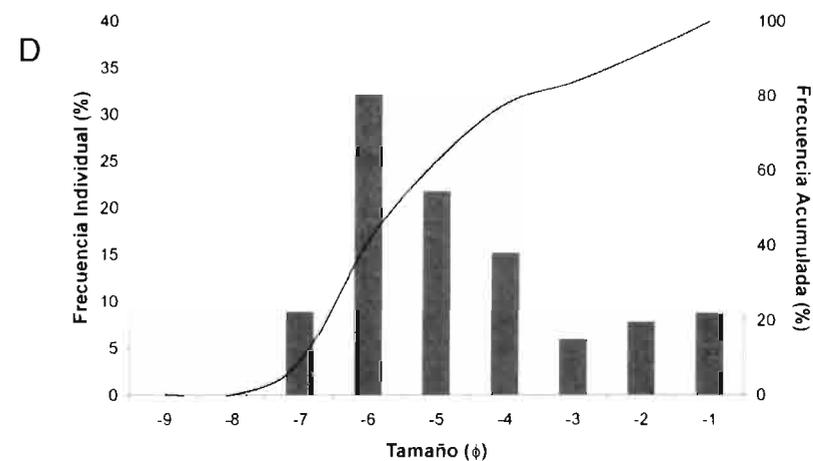
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-8 y -1	-7.79	1.69	0.53	1.79
Método gráfico	-8 y -1	-7.78	1.47	0.71	1.87

**Figura 22.** Análisis granulométrico del afloramiento LeijasMeco01base. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

LeijasMeco01cima		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	8.784	8.784
-6	32.051	40.834
-5	21.749	62.584
-4	15.166	77.750
-3	5.888	83.638
-2	7.700	91.338
-1	8.662	100



E

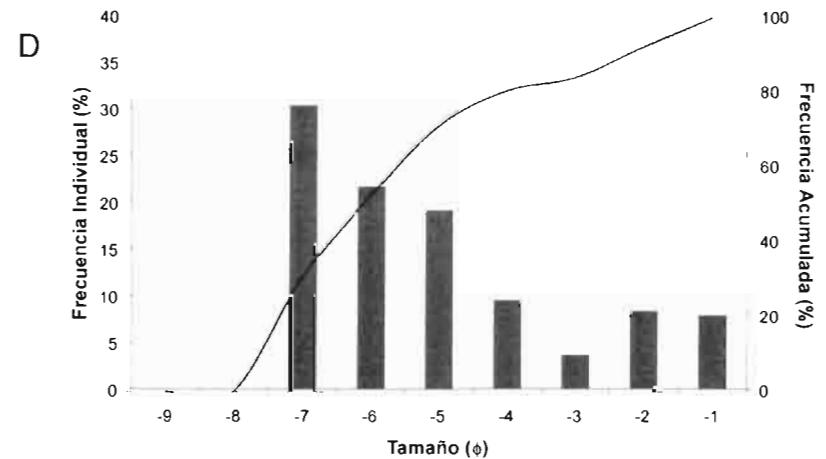
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-6 y -1	-5.58	1.84	0.37	1.04
Método gráfico	-6 y -1	-5.58	1.78	0.42	0.97

**Figura 23.** Análisis granulométrico del afloramiento LeijasMeco01cima. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



**C**

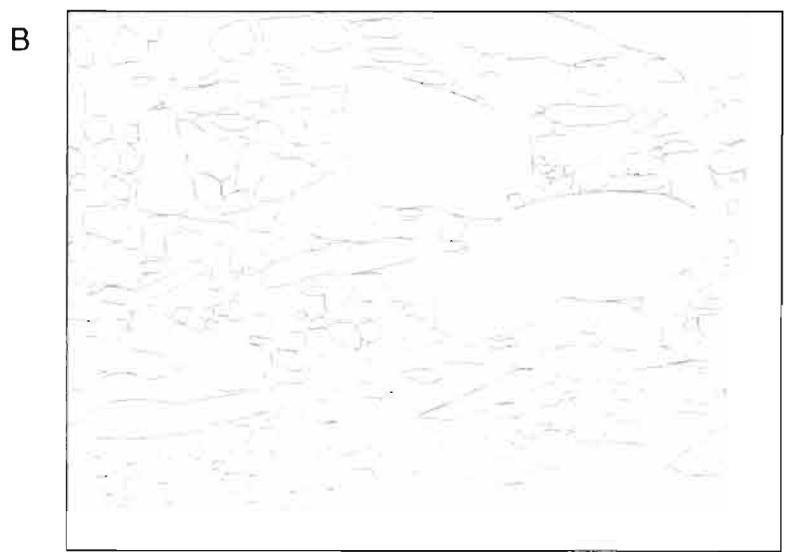
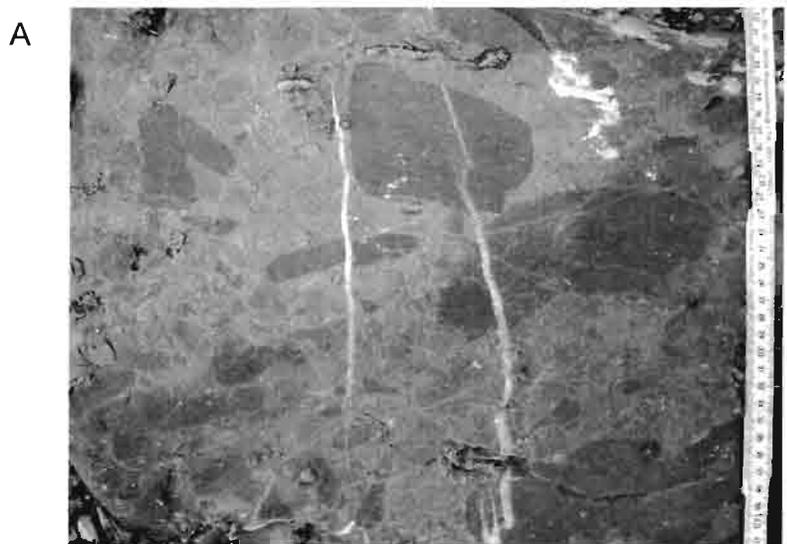
LeijasSC01		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	30.289	30.289
-6	21.597	51.886
-5	19.059	70.945
-4	9.407	80.352
-3	3.556	83.908
-2	8.283	92.191
-1	7.809	100



**E**

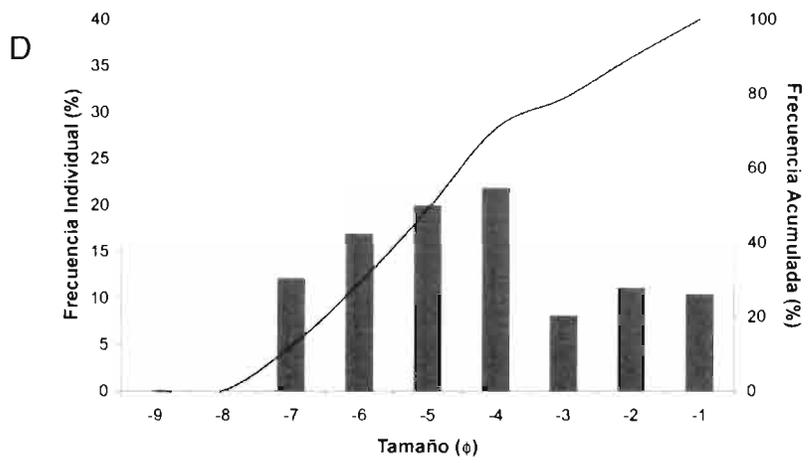
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-7 y -2	-6.09	2.06	0.41	0.97
Método gráfico	-7 y -2	-6.08	1.87	0.51	0.90

**Figura 24.** Análisis granulométrico del afloramiento LeijasSC01. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

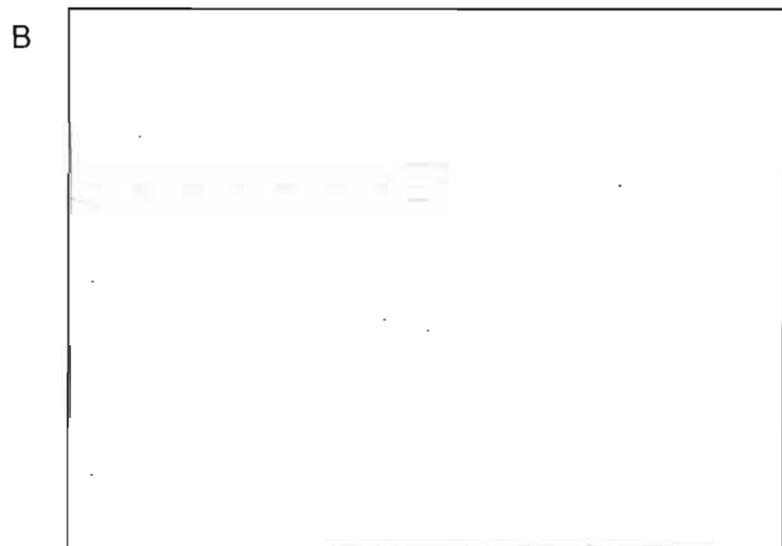
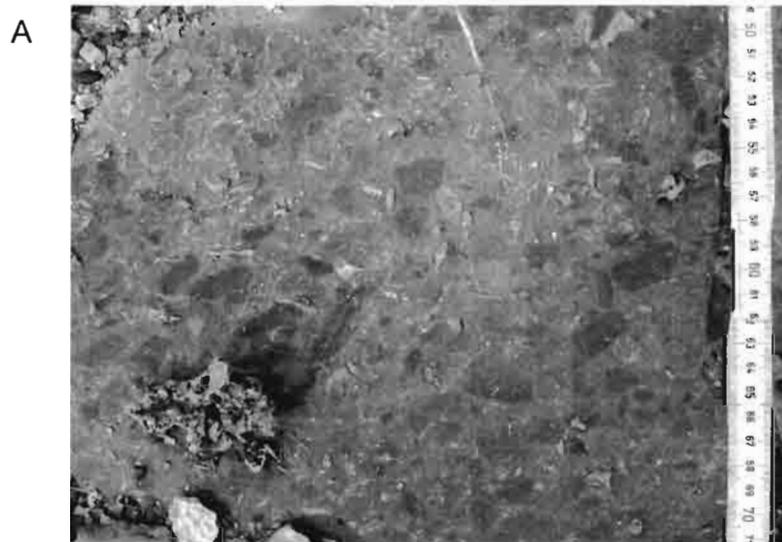
LeijasSC02base		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	12.057	12.057
-6	16.911	28.968
-5	19.912	48.880
-4	21.773	70.653
-3	8.046	78.699
-2	10.994	89.693
-1	10.307	100



E

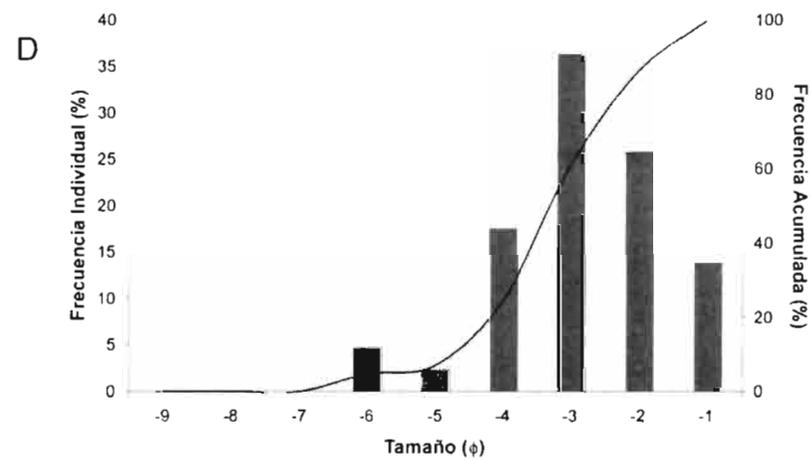
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-4 y -2	-4.95	1.99	0.14	0.90
Metodo grafico	-4 y -2	-4.95	1.85	0.16	0.78

Figura 25. Análisis granulométrico del afloramiento LeijasSC02base. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

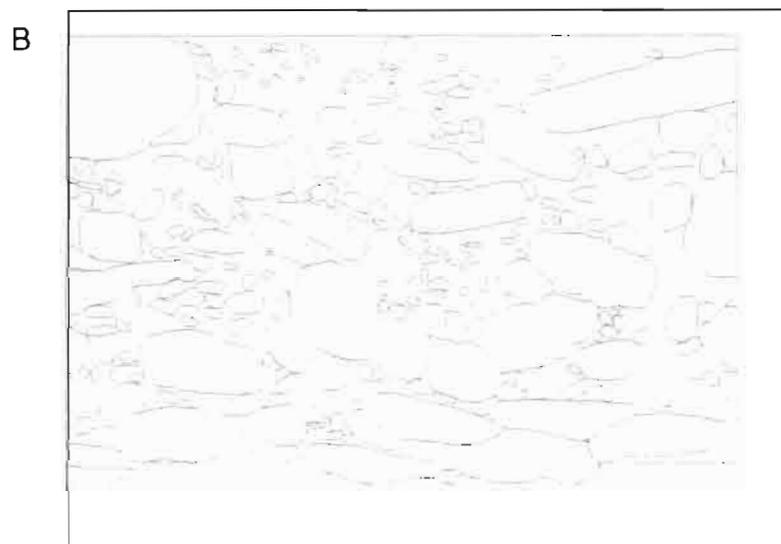
LeijasSC02cima		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	0	0
-6	4.664	4.664
-5	2.332	6.997
-4	17.491	24.488
-3	36.149	60.637
-2	25.654	86.291
-1	13.709	100



E

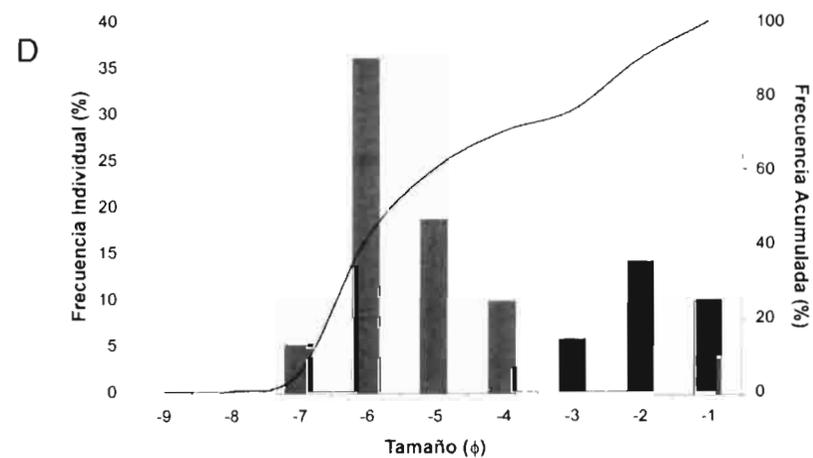
	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-6 y -3	-3.29	1.28	-0.07	1.19
Método gráfico	-6 y -3	-3.25	1.18	-0.12	1.12

**Figura 26.** Análisis granulométrico del afloramiento LeijasSC02cima. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.



C

LeijasSC03		
Tamaño ( $\phi$ )	%	% Acumulado
-9	0	0
-8	0	0
-7	5.220	5.220
-6	36.195	41.415
-5	18.824	60.239
-4	9.971	70.210
-3	5.689	75.899
-2	14.102	90.001
-1	9.999	100



E

	Análisis estadístico				
	Moda	Mediana	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Kware SFT	-6 y -2	-5.54	1.91	0.46	0.69
Método gráfico	-6 y -2	-5.50	1.79	0.45	0.66

**Figura 27.** Análisis granulométrico del afloramiento LeijasSC03. (A) Fotografía del afloramiento. (B) Delimitación de área y componentes. (C) Tabla de datos granulométricos. (D) Histograma de distribución del tamaño de grano. (E) Resultados del análisis estadístico.

## 2.4 Interpretación del análisis granulométrico

El análisis granulométrico realizado en los depósitos de brechas de la localidad de El Xoconoxtle, mostraron una distribución mayormente bimodal, manteniendo de manera general el número de modas en los tres afloramientos, siendo los componentes del tamaño de guijarros muy gruesos a cantos o guijas pequeñas ( $-5.04$  a  $-6.88 \phi$ ) los que predominaron en esta brecha. La disminución del diámetro promedio ( $-2.92 \phi$ ) hacia la cima del afloramiento Xoco01, evidencia una clara gradación normal o bien el aporte de material de otro flujo u otra fuente. Los afloramientos de El Xoconoxtle presentaron de manera general un grado de sorteamiento muy pobre, resultado de la alta distribución en el tamaño de sus componentes.

La brecha de la localidad de Armadillo de Los Infante, es el único depósito que muestra una curva normal de distribución del tamaño de granos, es decir, una curva ideal, lo que nos sugiere que esta brecha está conformada por una sola población o tamaño de grano y pudiera ser el producto de una sola fuente y por lo tanto este afloramiento puede ser considerado como las facies más proximal a la fuente de este depósito; sin embargo, el análisis microfacial indica facies más distales a la fuente (Capítulo 3).

Las características granulométricas de las brechas que afloran en la localidad de San Antonio de Eguía, presentan una distribución monomodal a bimodal, predominando clastos del tamaño de guijarros gruesos a muy gruesos y con un sorteamiento pobre. Cabe mencionar que en este análisis granulométrico y en observaciones de campo, es posible apreciar un cambio lateral en tan solo algunos metros de distancia, la variación en el tamaño de los clastos ( $Md=-4.8$  a  $-6.10\phi$ ) y el contenido de matriz con respecto a los bloques, tendiendo a cambiar en tan solo unos metros el tipo de fábrica, es decir, de una fábrica soportada en granos (Eguía01) a soportada en lodo (Eguía02).

La brecha calcárea de El Coro muestra importantes variaciones verticales, evidenciando una clara gradación normal hacia la cima debido a la disminución del diámetro medio de los componentes ( $Md=-6.85$  a  $-3.87$ ) y la selección del depósito (de pobre a muy pobre), cabe señalar que en esta brecha se han reportado bloques de hasta un metro de diámetro, lo que aumenta a extremadamente pobre el

grado de selección de la brecha si estos bloques fueran tomados en cuenta. Los resultados obtenidos en análisis de este depósito sugiere la existencia de dos unidades diferentes; sin embargo, las observaciones realizadas en el campo así como el análisis microfacial (Capítulo 3.4), indican que se trata de un solo depósito. El análisis granulométrico de la brecha de Corazones, presenta hacia su parte distal (Corazones01), una clara gradación normal de la base a la cima de la brecha, respaldada por la disminución del número de modas (polimodal a unimodal), disminución del tamaño de cantos grandes a guijarros finos ( $Md=-7.10$  a  $-2.55 \phi$ ) y al aumento del grado de selección (de muy pobre a moderado). Hacia la parte proximal (Corazones02), el diámetro medio de los componentes (guijarros muy gruesos) se mantuvo estable de manera general en todo el afloramiento. Sin embargo, fue claro que de la base hacia la parte media de la brecha presenta una gradación normal, respaldada por la disminución de la distribución del tamaño de los componentes (desde  $-8$  a  $-6 \phi$ ), así como al cambio gradual de sorteamiento del depósito desde muy pobre a casi moderado. Mientras que de la parte media a la cima del afloramiento, es clara la presencia de una gradación inversa debido al ligero aumento de la distribución del tamaño de los clastos (de  $-6$  a  $-7 \phi$ ) y al cambio repentino de selección del depósito de moderado a muy pobremente sorteado. Comparando ambos afloramientos de la brecha de Corazones, la parte distal (Corazones01) en su base y parte media presenta un ligero enriquecimiento de componentes más gruesos ( $Md=-7.10$  y  $-6.23 \phi$  respectivamente) en comparación con los componentes de la base y parte media ( $Md=-5.87$  y  $-5.56 \phi$  respectivamente) del afloramiento proximal (Corazones02), lo que sugiere una probable asimilación o "*bulking*" de material; sin embargo, el depósito en sentido lateral no muestra variaciones significativas en la morfología y composición de los componentes.

Los afloramientos de las brechas de la localidad de Rincón de Leijas (Cerro Meco y Santa Cruz) presentaron características ligeramente similares. El análisis de la brecha de el Cerro El Meco presenta de manera general una distribución bimodal y un grado de sorteamiento pobre ( $\sigma=1.69$  a  $1.84 \phi$ ), presentando una clara gradación normal de la base a la cima ( $Md=-7.79$  a  $-5.58 \phi$  respectivamente), así como un cambio de fábrica mayormente soportada en clastos a soportada en matriz. Las

brechas de El Cerro Santa Cruz de manera general presentaron distribuciones bimodales, con diámetros medios de los clastos oscilando entre guijarros de tamaño medio a muy grueso ( $Md = -3.29$  a  $-6.0 \phi$ ) y el grado de selección fue pobre. Únicamente el afloramiento LeijasSC02 presentó una clara gradación normal hacia la cima, mientras que los otros dos afloramientos presentaron un arreglo masivo. Los resultados del análisis granulométrico de las brechas calcáreas estudiadas brindan información que sugieren un modelo de depositación de las mismas, así como sus mecanismos de transporte (Capítulo 4 Modelos deposicionales); aunado al análisis microfacial de sus componentes (Capítulo 3 Análisis microfacial), es posible realizar un modelo de desarrollo paleogeográfico de la zona de estudio.

### 3. ANÁLISIS MICROFACIAL DE LAS BRECHAS CALCÁREAS

El término microfacies es considerado como el total de todos los datos sedimentológicos y paleontológicos que pueden ser descritos y clasificados en lámina delgada, representando una de las herramientas más útiles en la interpretación y reconstrucción del ambiente de depositación u origen de los sedimentos. En el presente trabajo se recolectaron muestras de las brechas de cada una de las estaciones y se prepararon un total de 52 láminas delgadas para la caracterización microfacial de éstas, siguiendo los lineamientos para la clasificación de rocas carbonatadas de Dunham (1962) (Apéndice 7) y Folk (1959 y 1962) (Apéndice 8), caracterización de microfacies estándar (Flügel, 1982) y de zona de facies (Wilson, 1986) (Apéndice 9).

#### 3.1 El Xoconoxtle

##### **Análisis microfacial**

Brecha calcárea compuesta por una masa básica micrítica-microesparítica con un contenido de componentes mayor del 70%, los cuales debido a su extremo empaquetamiento forman una fábrica soportada por granos. Los principales componentes en estas brechas son principalmente intraclastos, bioclastos, extraclastos, ooides, pellets y pseudopellets (Lámina 13 A).

La masa básica constituye aproximadamente un 25-30% de la brecha, la cual varía mayormente de micrita a microesparita de color gris a gris claro (Lámina 13 B).

Los componentes que se presentan con mayor frecuencia son los intraclastos seguidos por los bioclastos. Los intraclastos se componen de: 1 – Wackestone de espículas y radiolarios (Lámina 13 C), SMF 1 (ambientes de cuenca de aguas profundas con sedimentación lenta, estas microfacies son comunes en carbonatos de cuenca del Paleozoico / Mesozoico así como plataformas de mar abierto); 2 – Mudstone de bioclastos (Lámina 13 D), SMF 3 (zonas de cuenca y plataforma de mar abierto o pie talud, FZ 1-B y 3); 3 – Intercalación de wackestone de bioclastos y microfósiles pelágicos / grainstone de pellets (Lámina 13 E), SMF 2 y 3 (común en cuencas profundas y hacia la parte distal del pie de talud); 4 – Laminación mi-

limétrica de mudstone de foraminíferos planctónicos biseriales y radiolarios / packstone de pellets y miliólidos (Lámina 13 F), SMF 2 y 3 (zonas de facies 1 y 3); 5 – Wackestone de espículas y bioclastos (Lámina 13 G), SMF 1 (cuenca y plataforma de mar abierto) y 6 – Wackestone pelágico con radiolarios (Lámina 13 H), SMF 3 (facies de cuenca y plataforma de mar abierto, FZ 1-B y 2).

Los bioclastos presentes en esta brecha son en su mayoría fragmentos o restos de fauna de zonas arrecifales e inclusive post-arrecifales, principalmente algas (Lámina 14 A, B y C), esponjas (Lámina 14 D), bivalvos (Lámina 14 E), braquiópodos (Lámina 14 D y F) y raramente se encuentran algunos equinodermos (Lámina 14 G y H), así como foraminíferos bentónicos, entre los que destacan: orbitolínidos (Lámina 15 A y B), miliólidos (Lámina 15 D y E) y otros (Lámina 15 C).

Otros componentes que se encuentran muy comúnmente son ooides (Lámina 15 F y G), que en comparación con otros granos carbonatados, los ooides son componentes fácilmente retrabajados y transportados por flujos de masa gravitacionales o corrientes turbidíticas, formando acumulaciones alóctonas en sedimentos del talud y cuenca (FZ 1 y 4).

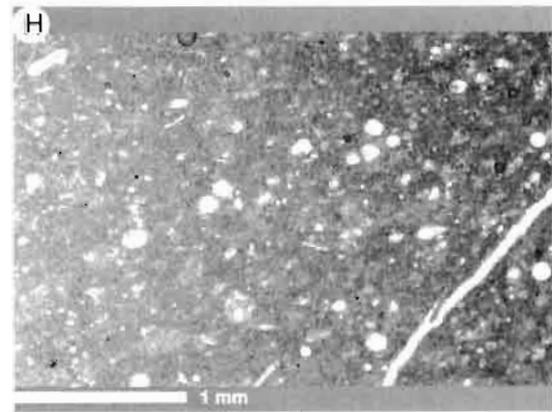
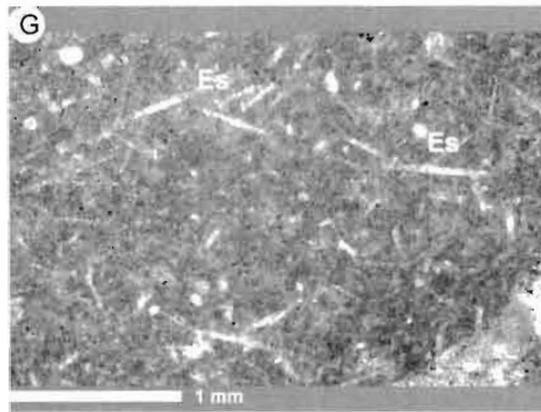
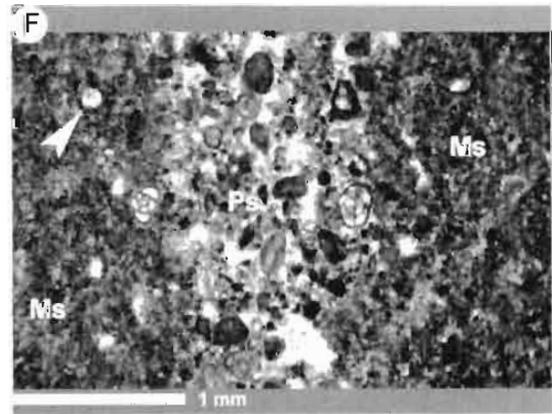
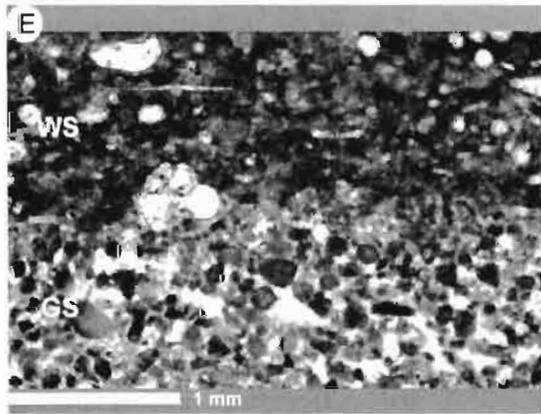
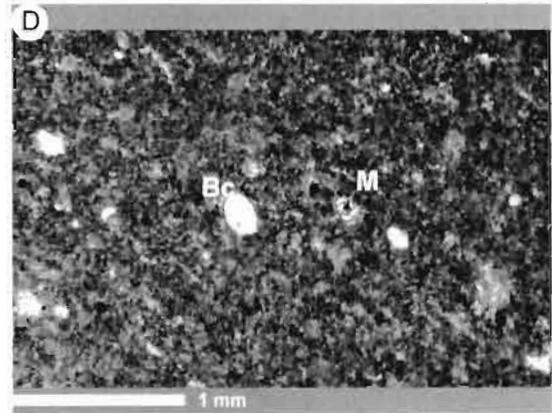
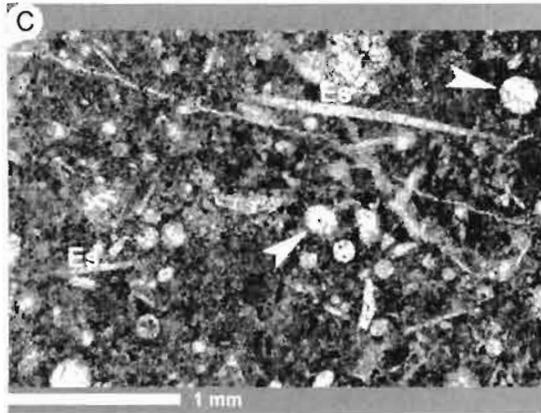
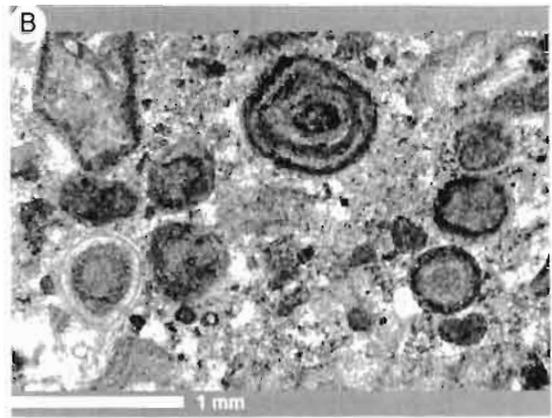
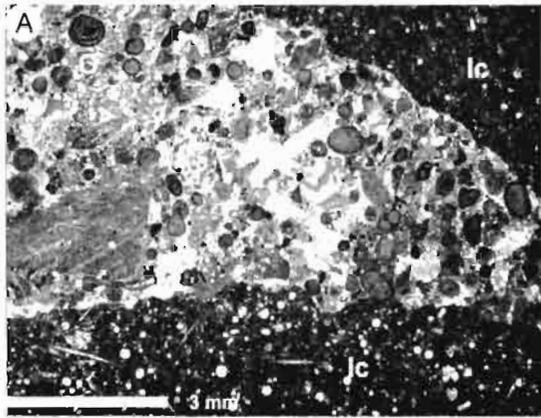
Los extraclastos están presentes en una abundancia muy baja y principalmente se componen de: 1 – Packstone de granos cubiertos, bioclastos y pellets (Lámina 15 H), SMF 11 (comúnmente en zonas de arrecifales, FZ 5) y 2 – Wackestone con bioclastos y foraminíferos bentónicos (miliólidos) con bioturbación (Muestra XO-02C), SMF 9 (FZ 7: Laguna post-arrecifal).

Otros componentes en menor cantidad observados en el análisis microfacial de muestras de la brecha de El Xoconoxtle comprenden desde granos cubiertos (cortoides), granos amorfos micritizados (pseudopellets), pellets, granos agregados y esporádicamente fragmentos de pedernal.

### **Interpretación del depósito**

La brecha calcárea de El Xoconoxtle está constituida principalmente por un rudstone de intraclastos, bioclastos, extraclastos, ooides, pellets y pseudopellets. El arreglo textural y composición litológica, indican que esta brecha presenta una Microfacies Estándar (SMF) del tipo 4 a 5 (Apéndice 9), por lo que se asume que

Lámina 13



## Lámina 14. El Xoconoxtle

**A.** Alga roja calcárea la cual muestra una forma de crecimiento laminar y foliada. La forma consiste de capas superpuestas con poco o sin espacio entre estas, similar al crecimiento de corales incrustados y son comunes en plataformas carbonatadas. Muestra XO-01B, Objetivo 2.0X, Luz natural.

**B.** Fragmento de una alga roja, muy probablemente parte de una sección longitudinal y transversal de *Solenopora* la cual muestra distintos filamentos exhibiendo contornos en forma de perla que corresponden a conexiones laterales; son comunes en plataformas y arrecifes carbonatados del Paleozoico y Mesozoico (Pl. 55 in Flügel, 2004). Muestra XO-02B, Objetivo 1.25X, Luz Natural.

**C.** Fragmento de una *Cyanobacteria*, probablemente se trate de *Garwoodia* (alga verde?) la cual muestra una pared delgada, racimos radiales de tubos los cuales comúnmente son yuxtapuestos (posición sistemática incierta). Muestra XO-03, Objetivo 2.0X, Luz natural.

**D.** En la parte izquierda de la fotomicrografía se observa un fragmento de una esponja calcárea (Ep), cortada a través de una sección oblicua que exhibe una cavidad central, rodeada por una zona exterior constituida por canales irregulares y de diferente forma, rellenos de esparita (flecha). Hacia la parte derecha de la fotomicrografía se observa un fragmento de braquiópodo (Bq), el cual muestra la estructura lamelar foliada característica que distingue a este grano esquelético de las conchas de bivalvos. Otra característica es la presencia de poros pequeños (negros) entre la concha. Muestra XO-02B, Objetivo 1.25X, Luz natural.

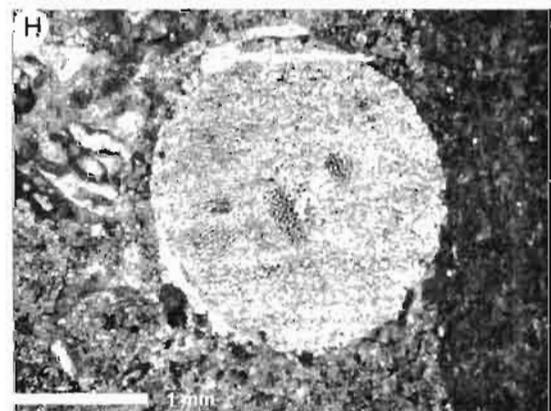
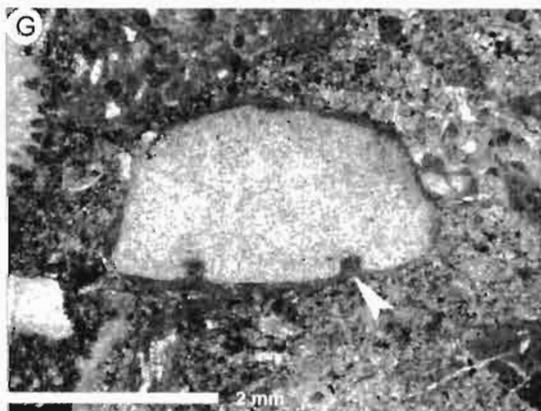
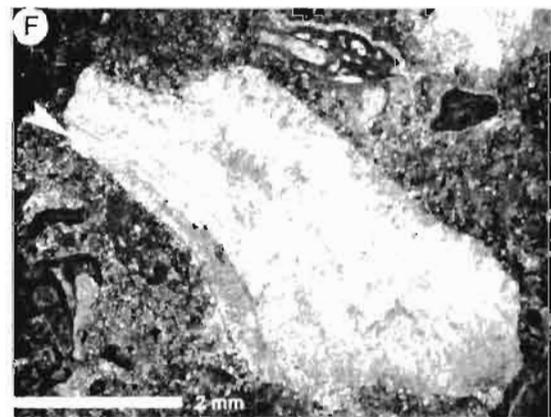
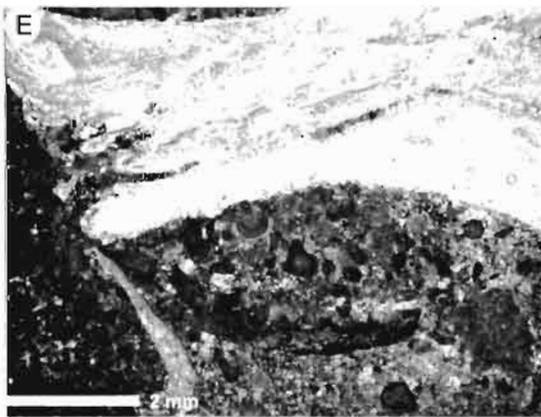
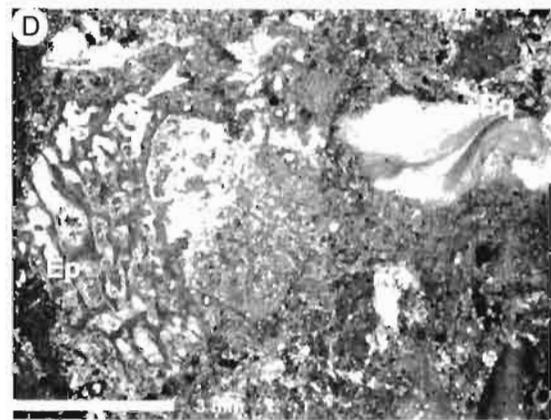
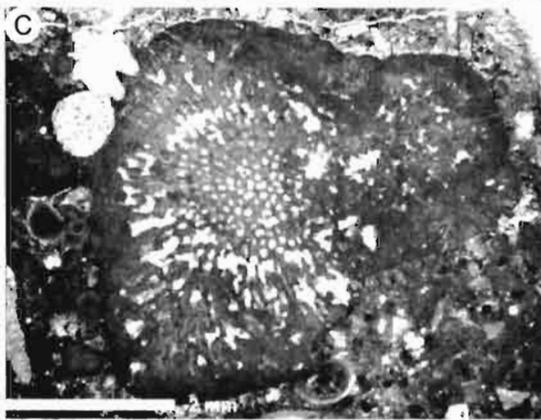
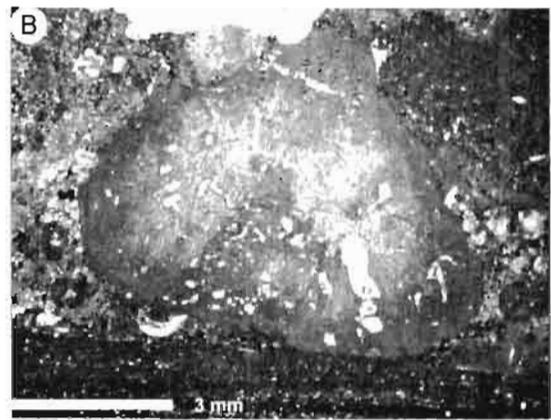
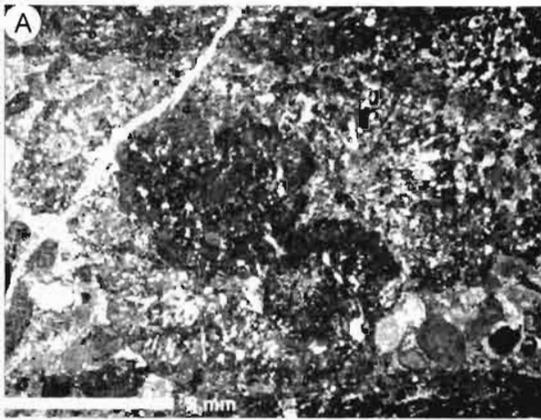
**E.** Fragmento de concha de un bivalvo el cual aun conserva relictos de la estructura foliada original debido muy probablemente a la alteración de esta. Muestra XO-02B, Objetivo 1.6X, Luz natural.

**F.** Fotomicrografía a detalle de un fragmento de braquiópodo el cual muestra una estructura de pared fibrosa de bajo ángulo y la pared exterior con arreglos perpendiculares de fibras (flecha). Muestra XO-02C, Objetivo 2.0X, Luz natural.

**G.** Fragmento de equinodermo el cual muestra una malla extremadamente fina, de apariencia polvorienta y planos de clivaje paralelos (observados con luz polarizada). Este grano esquelético esta envuelto por un aro de micrita producido por el relleno de microperforaciones (flecha), por lo tanto, el grano puede considerarse como un cortoide. Muestra XO-02B, Objetivo 2.5X, Luz natural.

**H.** Corte transversal de una placa del tallo circular de un crinoide, nótese que la microestructura original en gran parte ha desaparecido (los planos de clivaje se observaron con luz polarizada). Muestra XO-02C, Objetivo 3.2X, Luz natural.

Lámina 14



## Lámina 15. El Xoconoxtle

**A.** Fragmento de un *Orbitolinido* retrabajado y desgastado, de caparazón finamente aglutinado, los cuales pueden ser malinterpretados como clastos de micrita si el cemento de calcita microcristalina es más notable que las partículas de grano fino que forman la pared. Comprenden un importante indicador bioestratigráfico y son usados para biozonaciones, particularmente para plataformas y rampas del Barremiano, Aptiano, Albiano y Cenomaniano. Muestra XO-02C, Objetivo 1.6X, Luz natural.

**B.** Sección axial de un fragmento de *Orbitolina texana* Roemer (*Mesorbitolina*). Rango estratigráfico: Aptiano Tardío al Cenomaniano Temprano (Pl. 70 in Flügel, 2004). Muestra XO-02C, Objetivo 2.0X, Luz natural.

**C.** Ejemplar de un foraminífero bentónico que presenta un caparazón cónico el cual exhibe cámaras subdivididas en pequeñas cámaras. Estos foraminíferos son abundantes en depósitos de plataformas internas de aguas someras comúnmente asociados con miliólidos. Muestra XO-03, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**D.** Fotomicrografía a detalle de los componentes menores a 2 mm de la brecha el Xoconoxtle exhibiendo un alto contenido en ooides (O), foraminíferos bentónicos (M-miliólidos), pellets (P) y pequeños fragmentos de equinodermos (E). Muestra XO-01A, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**E.** Miliólido con paredes en gran parte micritizadas y poros rellenos con esparita. Son comúnmente especiales en ambientes postarrecifales ligeramente restringidos. Muestra XO-01B, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**F.** Fragmento de braquiópodo con la típica estructura lamelar-foliada en contacto con ooides y pellets, los cuales flotan en una masa básica mayormente micrítica. Muestra XO-01A, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**G.** Fotomicrografía a detalle de los ooides (O) los cuales muestran las siguientes características: abundancia media, ooides simples y ocasionalmente compuestos, de tipo tangencial y micrítico, esféricos a elipsoidales, tamaños desde 0.2 a 0.7 mm, moderadamente sorteados, núcleos de micrita y algunas veces presentan granos esqueléticos (foraminíferos), lámelas compuestas de micrita, variación en el número de anillos y formados no uniformemente, el contacto entre los ooides es de tipo puntual y raramente se observan ooides rotos/deformados. Muestra XO-03, Objetivo 2.5X, Luz natural.

**H.** Packstone de granos cubiertos, bioclastos y pellets (Ps) / Biopelmicroesparita. Clasto compuesto por más del 10% de componentes (todos menores a 2 mm), la mayoría son bioclastos cubiertos de micrita o totalmente micritizados, pequeños intraclastos y pellets. Los componentes flotan en una masa básica micrítica a esparítica. Muestra XO-01B, Objetivo 1.6X, Luz natural.

esta brecha se depositó en un ambiente de pie de talud a plataforma de mar abierto (Apéndice 9).

Dentro de esta brecha, dos tipos de sedimentación fueron claramente diferenciados: el primero de ellos está representado por fragmentos muy poco retrabajados (clastos de forma tabular, angulosos) del piso marino los cuales varían en composición desde mudstone, wackestone a packstone, con laminación milimétrica y fauna pelágica (SMF 1, 2 y 3), los cuales muestran características típicas de una sedimentación lenta autóctona depositada en ambientes de aguas profundas abarcando desde zonas de cuenca, plataforma de mar abierto y pie de talud (FZ 1 a 3, Apéndice 9). El segundo tipo de sedimentación esta representado por fragmentos erosionados y transportados desde el margen de plataforma e inclusive detrás del arrecife (FZ 5 y 6, Apéndice 9), compuestos por una gran variedad de bioclastos (p.e. algas, esponjas, bivalvos, braquiópodos), foraminíferos (orbitolínidos y miliólidos), ooides y extraclastos (p.e. packstone de granos cubiertos, bioclastos y pellets) los cuales muestran claras evidencias de un origen marino somero pero depositados por procesos gravitacionales y de suspensión.

La coexistencia de sedimentos autóctonos y alóctonos indican que esta brecha probablemente se formó debido al colapso de un frente arrecifal (*rockfall*) evidenciado por la presencia de rudistas, el cual origino un movimiento talud abajo de sedimentos de aguas someras y del mismo talud moviéndose bajo la fuerza de gravedad (*debris flow*), depositándose finalmente en una zona de facies de pie de talud (FZ 3, Apéndice 9).

La fragmentación de los clastos autóctonos en formas alargadas semiangulosas sugieren un emplazamiento de los flujos de escombros cuando estos se encontraban en un estado semiconsolidado.

### **Lámina 13. El Xoconoxtle**

**A.** Rudstone de intraclastos, bioclastos, ooides y pellets / Intrabiopelmicroesparudita. Lámina delgada de la brecha El Xoconoxtle compuesta por una matriz micrítica a microesparítica con un gran contenido de componentes (>60%), principalmente intraclastos (Ic), bioclastos (Bc), ooides (O), y pellets (P), los cuales debido a su extremo empaquetamiento forman una fábrica soportada por granos. Muestra XO-01A, Objetivo 1.25X, Luz Natural.

**B.** Fotomicrografía de la masa básica de la brecha El Xoconoxtle, la cual varía de micrita (<4  $\mu\text{m}$ ) a microesparita (5 a 7  $\mu\text{m}$ ) de color gris claro. Muestra XO-01A, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**C.** Wackestone de espículas y microfósiles pelágicos / Biomicrita. Clasto con más del 10% de componentes, dominando espículas monoaxónicas (Es) de esponjas. Las estructuras circulares son secciones transversales de radiolarios (flechas). Algunas espículas están ligeramente orientadas, indicando las corrientes en el fondo marino. Los componentes nadan en una matriz micrítica, formando una fábrica soportada por lodo. Muestra XO-01A, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**D.** Mudstone de bioclastos / Biomicrita. Intraclasto compuesto de por más del 90% de matriz micrítica y con un contenido menor al 10% de componentes. Los escasos componentes presentes son todos menores a 2 mm y se trata de pequeños bioclastos rellenos de esparita (Bc) y pequeños foraminíferos bentónicos (M-miliólidos). Muestra XO-01A, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

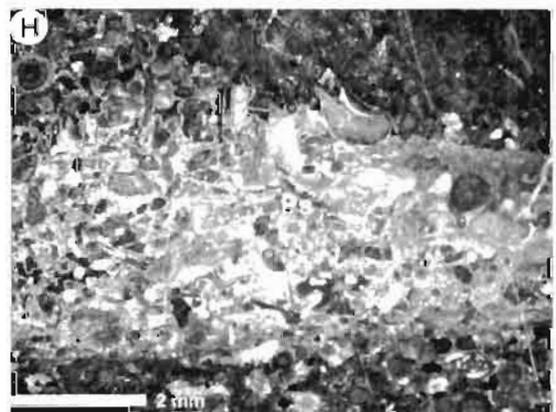
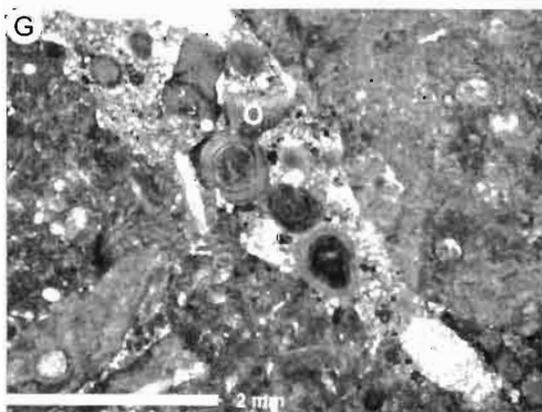
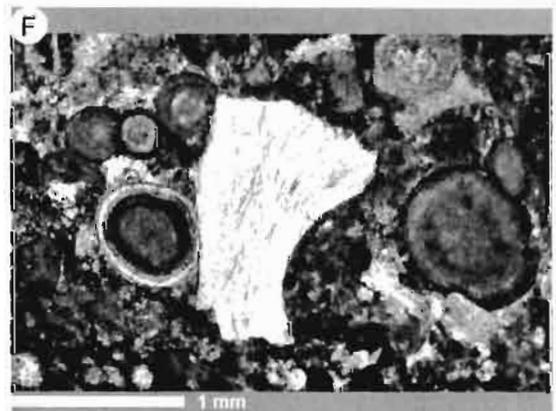
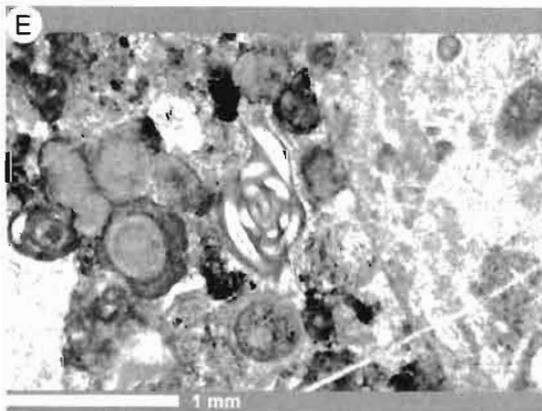
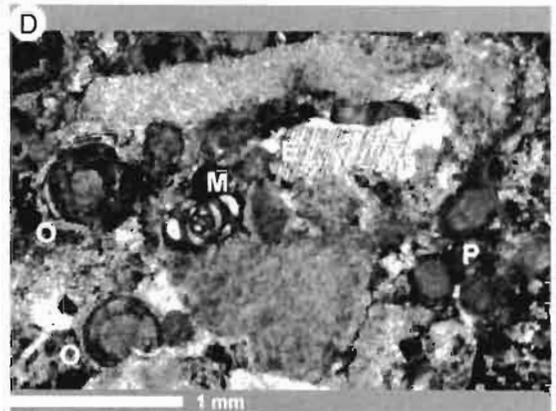
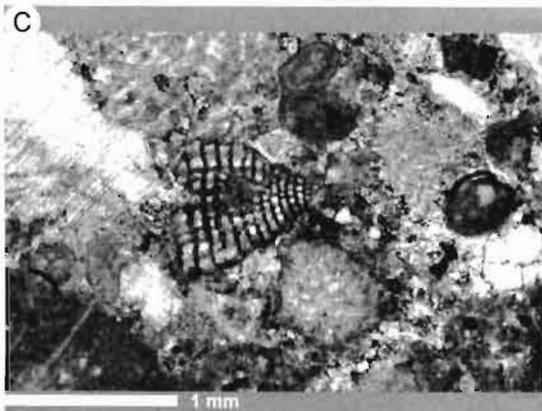
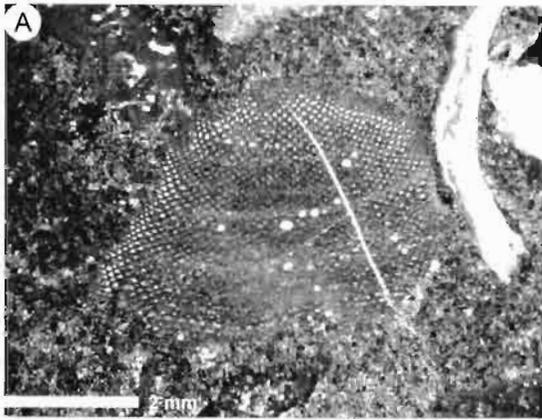
**E.** Wackestone de bioclastos y microfósiles pelágicos (Ws) y grainstone de pellets (Gs). La parte superior de la lamina sobrepasa el 10% de componentes, principalmente bioclastos, radiolarios y foraminíferos planctónicos globulares, los cuales flotan en una matriz micrítica. La parte inferior de la lámina presenta una masa básica esparítica que contiene más del 70% de pequeños pellets formando una fábrica soportada por granos. Muestra XO-01A, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**F.** Clasto con laminación milimétrica el cual presenta una alternancia de: 1 - Mudstone de bioclastos (Ms) / Biomicrita: compuesto por más del 90% de matriz micrítica en la cual flotan componentes menores a 2 mm y se trata de pequeños foraminíferos planctónicos biseriales y radiolarios (flecha), y 2 - Packstone de pellets y foraminíferos bentónicos (Ps) / Biomicroesparita: el contenido de componentes sobrepasa el 10%, dominando los pellets seguidos por algunos foraminíferos bentónicos (miliólidos), alcanzándose a reconocer que éstos flotan dentro de una masa básica microesparítica formando una fábrica soportada por matriz. Muestra XO-01B, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**G.** Wackestone de espículas / Biomicrita. Clasto compuesto por poco más del 12% de componentes (todos menores a 2 mm), principalmente espículas (Es) y bioclastos muy pequeños (comúnmente conchas), los cuales se encuentran flotando en una matriz predominantemente micrítica. Muestra XO-02C, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**H.** Wackestone con microfósiles planctónicos / Biomicrita. Clasto compuesto por una matriz micrítica con abundantes microfósiles pelágicos (radiolarios?) y pequeños bioclastos. Muestra XO-03, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

Lámina 15



### 3.2 Armadillo de Los Infante

#### Análisis microfacial

En general, estas brechas están compuestas por una matriz micrítica con un gran contenido de componentes (>80%) de estos más del 10% son mayores a 2 mm, los cuales debido a su extremo empaquetamiento forman una fábrica soportada por granos. Los principales componentes consisten de extraclastos, bioclastos, intraclastos, granos cubiertos y pellets (Lámina 16 A)

La matriz es mayormente micrita de color gris a pardo, ligeramente con un contenido muy bajo de arcillas (Lámina 16 B).

Entre todos los componentes, son los extraclastos los que claramente dominan, y están representados por: 1 - Packstone y grainstone foraminífero con abundantes miliólidos, granos cubiertos y pellets (Lámina 16 C), SMF 18 (FZ 7 y 8: laguna post-arrecifal y laguna restringida); 2 - Packstone y grainstone de pellets, granos cubiertos y bioclastos (Lámina 16 D), SMF 11 (FZ 5 y 6: barrera y laguna post-arrecifal); 3 - Wackestone a packstone con bioclastos y granos cubiertos (Lámina 16 E), SMF 9 (FZ 7: laguna post-arrecifal); 4 - Wackestone con bioclastos, granos cubiertos y pellets (Lámina 16 F), SMF 8 y 9 (laguna post-arrecifal); 5 - Wackestone con bioclastos y pellets (Lámina 16 G), SMF 9 (FZ 2 y 7: plataforma de mar abierto y laguna post-arrecifal); 6 - Packstone de foraminíferos con abundantes miliólidos (Lámina 16 H), SMF 18-For (FZ 8: laguna de plataforma restringida); 7 - Packstone-grainstone de bioclastos cubiertos con cemento esparítico (Lámina 17 A), SMF 11 (FZ 6 y 5: barrera y arrecife); 8 - Packstone-wackestone de granos esqueléticos cubiertos y foraminíferos (Lámina 17 B), SMF 10 (FZ 7: plataforma abierta) y 9 - Wackestone de bioclastos y gasterópodos (Lámina 17 C), SMF 8 (FZ 2 y 7: laguna de plataforma con circulación, ambientes de baja energía por debajo del nivel de olas).

Existe una abundancia muy baja de intraclastos comparada con los extraclastos y bioclastos. De manera general, los intraclastos se componen de restos retrabajados del piso marino los cuales presentan las siguientes características: 1 - Mudstone a wackestone con bioturbación y pequeños bioclastos pelágicos (Lámina 17 D), SMF 1-*Burrowed* (cuenca y plataforma de mar abierto, FZ 1 y 2); 2 - Mudstone

pelágico con microfósiles planctónicos (Lámina 17 E), SMF 3 (cuenca y pie de talud, FZ 1-B y 3); 3 – Wackestone de equinodermos, calcíferas y ocasionalmente microfósiles planctónicos (Lámina 17 F), SMF 1 (cuenca y plataforma de mar abierto); 4 – Mudstone de pequeños bioclastos, calcíferas y globotruncanas (Lámina 17 G), SMF 3 (pie de talud, FZ 3); 5 – Packstone de equinodermos, espículas silicificadas, miliólidos rotos, foraminíferos bentónicos, pequeños intraclastos y pellets (Lámina 17 H), SMF 5 (*debris flow* de pie de talud).

A nivel microfacial existe un gran porcentaje de bioclastos en estas brechas, los cuales provienen tanto de facies de aguas someras, del talud y del piso marino, dominando claramente los bioclastos de aguas someras. Los bioclastos comprenden fragmentos de esponjas (Lámina 18 A), corales (Lámina 18 B), bivalvos (Lámina 18 C), rudistas (Lámina 18 D), equinodermos (Lámina 18 C) así como espículas de esponjas (Lámina 18 G). Los microfósiles comprenden foraminíferos bentónicos (Lámina 18 E) y planctónicos (Lámina 18 F).

Otros componentes en menor cantidad observados en el análisis microfacial de las brechas de Armadillo comprenden desde granos cubiertos (Lámina 18 D), pseudopellets, granos agregados (Lámina 18 H) y pellets (Lámina 17 H).

### **Interpretación del depósito**

La brecha de Armadillo de Los Infante se constituye principalmente de rudstone de extraclastos, bioclastos, intraclastos, granos cubiertos y pellets, que al igual que la brecha del Xoconoxtle, presenta componentes de origen alóctono y autóctono; sin embargo, los componentes de la brecha de Armadillo exhiben una morfología muy particular, clastos subredondeados a redondeados con alta esfericidad y moderado sorteamiento lo que indica una mayor interacción entre estos durante el transporte (Cap. 2.4). Esta brecha presenta características típicas de una microfacies estándar (SMF) tipo 4 (microbrecha, packstone o rudstone bioclástico-litoclástico), la cual consta de granos de varios orígenes, comúnmente gastados y redondeados, generalmente bioclastos autóctonos (equinodermos, espículas silicificadas de esponjas y foraminíferos planctónicos), intraclastos (p.e. mudstone y wackestone pelágico con microfósiles planctónicos, SMF 3, FZ 1 y 3), material importado de

aguas someras (p.e. esponjas, corales, radiolítidos, bivalvos, miliólidos, orbitolínidos finamente aglutinados) y litoclastos sin determinar previamente cementados (p.e. bioclastos con un cemento tipo A, alrededor de estos), presentando comúnmente gradación.

La presencia de componentes alóctonos indican que esta brecha tuvo un aporte de material desde la zona de facies de laguna post-arrecifal (FZ 7, Apéndice 9) a través de un canal o abertura del drenaje de la plataforma en el borde, desde el cual pudo haberse originado un movimiento talud abajo, o bien, el aporte de sedimentos desde esta zona, dando lugar a la formación de un flujo gravitacional el cual fue grandemente transportado hacia la parte más distal del pie de talud (FZ 3, Apéndice 9) e incluso el flujo pudo haber llegado hasta la zona de plataforma de mar abierto (FZ 2, Apéndice 9), evidenciado por el grado de sorteamiento y redondeamiento moderado a bueno de los componentes (Cap. 2.4) así como el análisis microfacial, los cuales muestran características típicas de esta zonas.

## **Lámina 16. Armadillo de Los Infante**

**A.** Fotomicrografía de un rudstone de la localidad de Armadillo de Los Infante, compuesto por más del 70% de componentes, principalmente extraclastos (Ec), intraclastos (Ic) y bioclastos (Bc), en una fábrica soportada por granos. La matriz es micrita (Mc). Muestra BRAI-01A, Objetivo 0.8X, Luz Natural.

**B.** Fotomicrografía de la masa básica de las brechas de Armadillo, la cual consiste mayormente de micrita (Mc) de color gris oscuro a pardo y esporádicamente presentan un contenido bajo de arcillas. Muestra BRAI-04, Objetivo 1.6X, Luz Natural.

**C.** Packstone con bioclastos y pellets / Biopelmicroesparita. Muestra compuesta por más del 10% de componentes lo cuales descansan en una masa básica micrítica/esparítica, formando una fábrica soportada en matriz. Todos los componentes son menores a 2 mm y son principalmente foraminíferos bentónicos (FB), pellets (P) y de manera esporádica bioclastos cubiertos (C-cortoides). Muestra BRAI-01A, Objetivo 1.6X, Luz Natural.

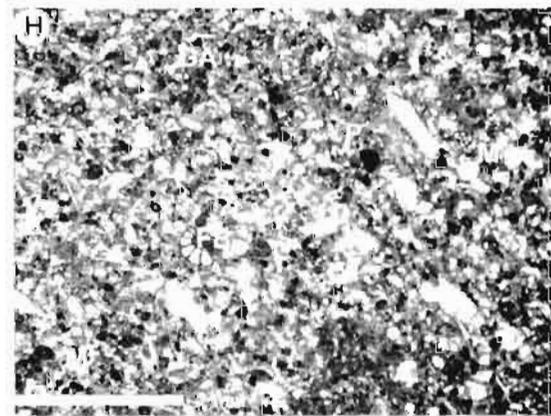
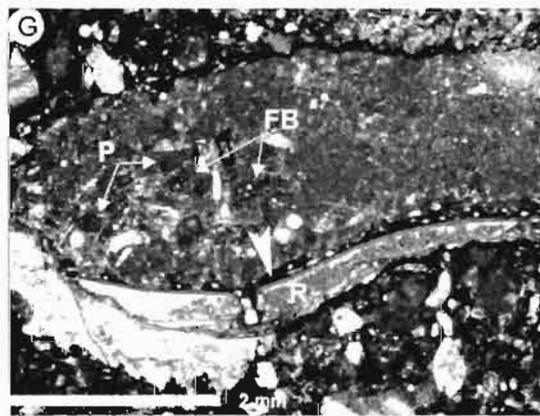
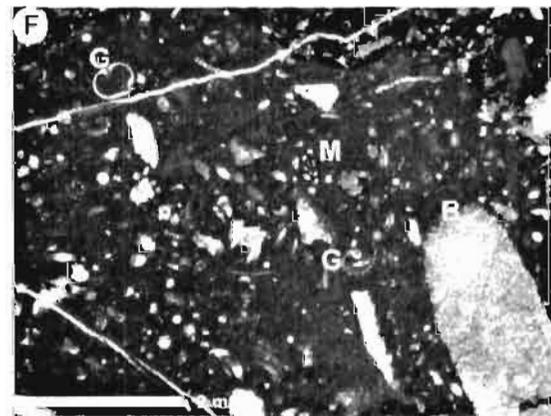
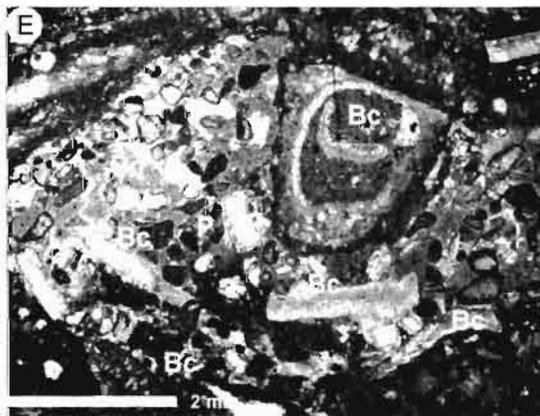
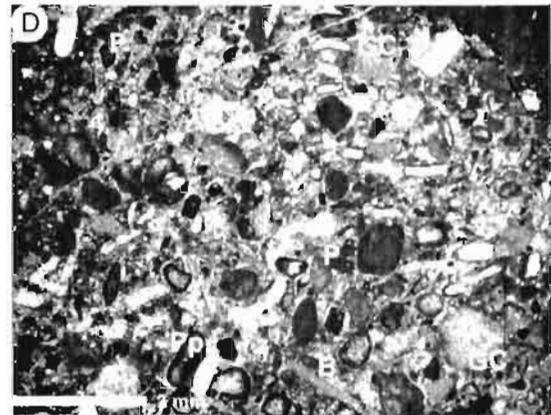
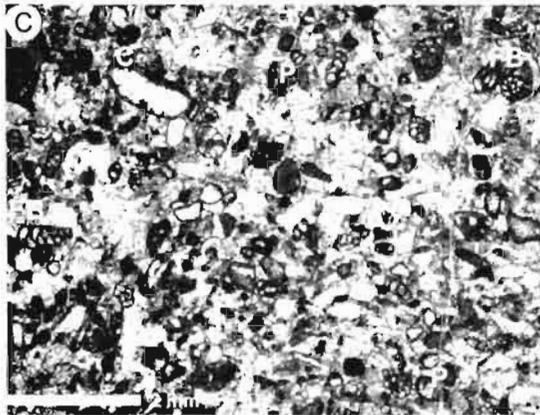
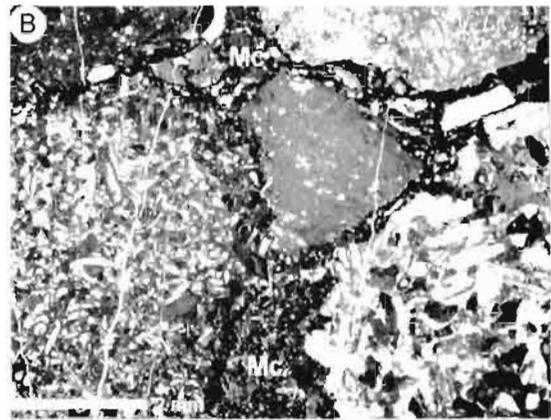
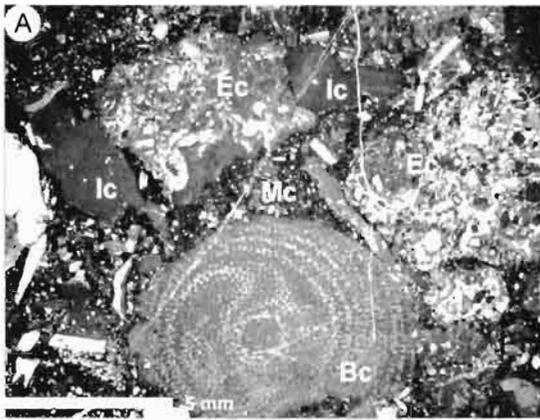
**D.** Packstone – grainstone de pellets, granos cubiertos y bioclastos / Pelbioesparita. Clasto compuesto por más del 10% de componentes (todos < 2 mm), principalmente pellets (P), granos amorfos micritizados (Pp-pseudopellets), granos cubiertos (GC) y fragmentos de bivalvos (B), en una masa básica esparítica formando una fábrica soportada por granos. Muestra BRAI-01A, Objetivo 1.6X, Luz Natural.

**E.** Wackestone-packstone con bioclastos, pellets y granos cubiertos / Biopelmicroesparita. Clasto compuesto por más del 10% de componentes (generalmente < 2 mm) los cuales descansan en una masa básica micrítica/esparítica. Los componentes observados son bioclastos de aguas someras (Bc), pellets (P) y granos cubiertos (GC) en una fábrica mayormente soportada en matriz. Muestra BRAI-01A, Objetivo 2.0X, Luz Natural.

**F.** Wackestone con bioclastos, granos cubiertos y pellets / Biopelmicrudita. En este clasto se observa que el contenido de componentes es mayor al 10%, principalmente bioclastos, entre los que se observan fragmentos de bivalvos con una dolomitización temprana (B), miliólidos (M) y gasterópodos (G), granos micritizados y pellets, soportados en una matriz micrítica de color gris oscuro, formado una fábrica soportada en matriz. Muestra BRAI-01B, Objetivo 2.0X, Luz Natural.

**G.** Wackestone con bioclastos y pellets / Biopelmicrita. Clasto compuesto por más del 10% de componentes, principalmente fragmentos de rudistas (R), pequeños foraminíferos bentónicos (FB) y algunos pellets (P), los cuales se encuentran flotando en una matriz micrítica. Al centro de la foto se observa una fábrica geopetal (flecha) representada por pequeños componentes acumulados hacia la parte interna de la concha. Muestra BRAI-01B, Objetivo 2.5X, Luz Natural.

**H.** Packstone de foraminíferos / Bioesparita. Clasto compuesto por más del 70% de componentes, todos menores a 2 mm, con abundantes foraminíferos bentónicos (FB) mayormente miliólidos (M), pellets (P) y granos agregados (GA), la matriz es micrítica/esparítica en una fábrica mayormente soportada por granos. Muestra BRAI-03, Objetivo 2.0X, Luz Natural.



## Lámina 17. Armadillo de Los Infante

**A.** Packstone – grainstone de bioclastos, granos cubiertos y pseudopellets / Biopelmicroesparudita. La mayoría de los granos esqueléticos están cubiertos por micrita o presentan microperforaciones biogénicas (flecha), además de granos amorfos totalmente micritizados (Pp-pseudopellets) y oncoides (On). Los bioclastos (Bc) son mayormente conchas de moluscos y esporádicamente se encuentran fragmentos de algas (Al). La masa básica es mayormente esparítica y solo algunos huecos están rellenos de micrita con pellets formando una fábrica soportada por granos. Muestra BRAI-04, Objetivo 1.25X, Luz Natural.

**B.** Packstone – wackestone de bioclastos cubiertos y pellets / Biopelmicroesparudita. Los componentes son principalmente bioclastos cubiertos (GC) flotando dentro de una matriz de grano fino, compuesta de pellets y micrita. La presencia de miliólidos (M) retrabajados/micritizados además de algunos extraclastos dentro de este clasto indican que fueron transportados desde ambientes de alta energía a baja energía (e.g. bancos de arena). Muestra BRAI-04, Objetivo 2.5X, Luz Natural.

**C.** Wackestone de bioclastos / biopelmicrita. En la lámina se observa que el contenido de componentes sobrepasa el 10% (todos < 2mm), todos son pequeños bioclastos (Bc) con una dolomitización temprana incipiente, la masa básica es pelmicrita (Pm) formando una fábrica soportada en matriz. En la microfotografía se observa un corte transversal a través del espiral superior de un gasterópodo (G). Muestra BRAI-04, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**D.** Mudstone-wackestone bioclástico / Biomicrita. Clasto compuesto mayormente por una matriz micritica con aproximadamente entre 10 a 15 % de componentes menores a 2 mm. Los escasos componentes son bioclastos muy pequeños y comprenden fragmentos de conchas, radiolarios (flechas) y pequeños fragmentos de equinodermos. La matriz presenta algo de bioturbación. Muestra BRAI-01A, Objetivo 2.0X, Luz natural.

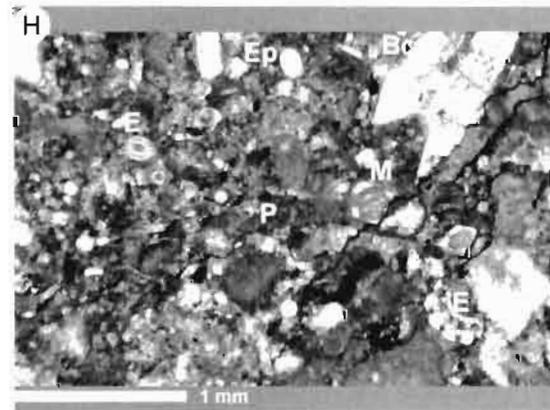
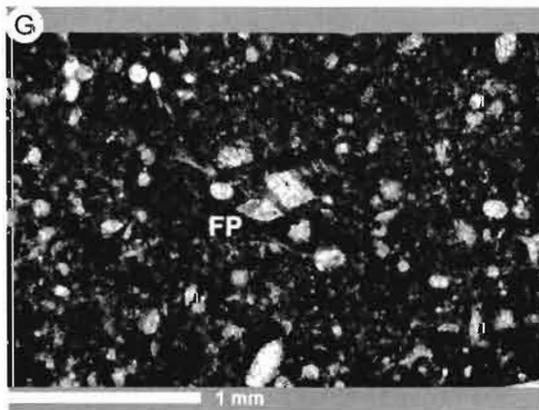
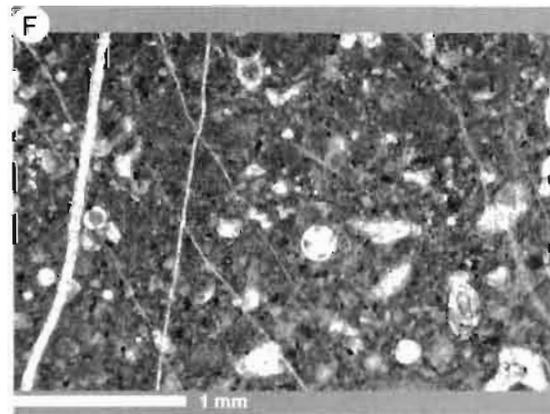
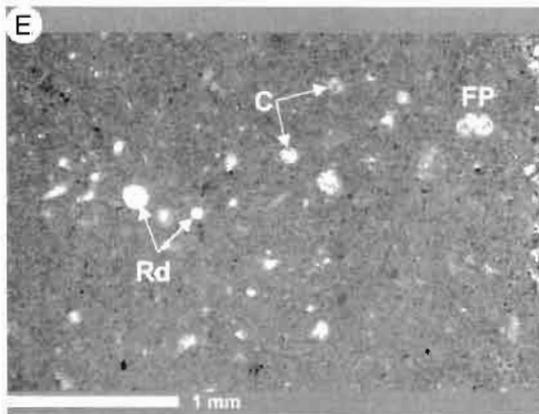
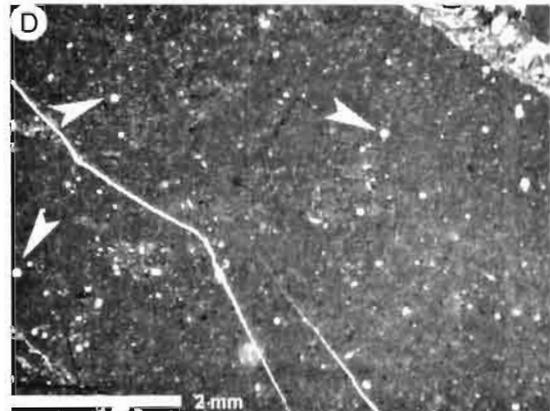
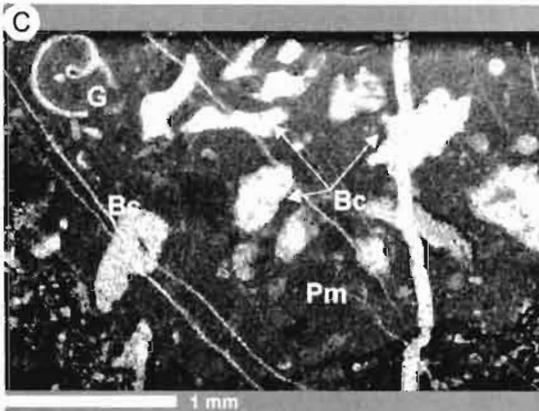
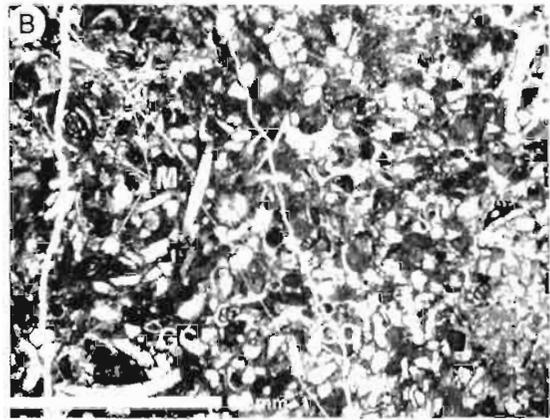
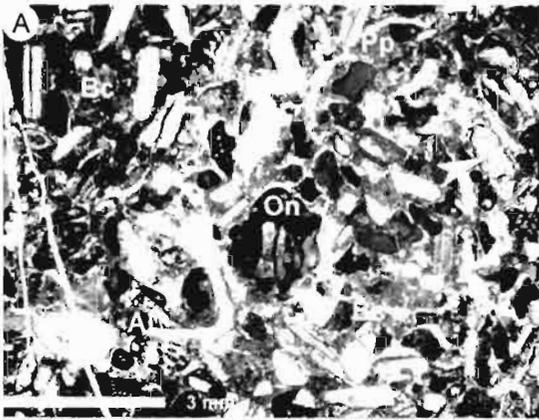
**E.** Mudstone de foraminíferos pelágicos / Biomicrita, compuesto por más del 90% de matriz micritica y con un contenido menor al 10% de componentes. Los pocos componentes presentes en este clasto son todos menores a 2 mm y se trata de pequeños bioclastos, calcíferas (C), radiolarios (Rd) y un foraminífero planctónico globular (FP). Muestra BRAI-03, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**F.** Wackestone de bioclastos / Biomicrita. Clasto compuesto por >12% de componentes (todos menores a 2 mm), los cuales se tratan de pequeños bioclastos (equinodermos), calcíferas y ocasionalmente microfósiles planctónicos, los cuales flotan en una matriz micritica. Muestra BRAI-04, Objetivo 4X, Nícoles cruzados.

**G.** Mudstone con bioclastos /Biomicrita. Clasto compuesto por más del 90% de matriz micritica y un contenido menor al 10% de componentes. Todos los componentes presentes son menores a 2 mm y se trata de pequeños bioclastos, calcíferas y un foraminífero planctónico (FP-*Globotruncana* sp.). Muestra BRAI-04, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**H.** Fotomicrografía de la parte superior de la brecha la cual consiste mayormente de packstone de bioclastos, intraclastos y pellets / Biointrapelmicrita bien empaquetado compuesto por más del 10% de componentes (menos del 10% son >2mm) principalmente bioclastos (Bc) como fragmentos y espinas de equinodermos (E), espinas de esponjas silicificadas (Ep), miliólidos rotos (M) y otros foraminíferos bentónicos, pequeños intraclastos y pellets (P) los cuales descansan en una matriz micritica. Muestra BRAI-05, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

Lámina 17



## Lámina 18. Armadillo de Los Infante

**A.** Fragmento de esponja en el cual se alcanza a reconocer parte de su estructura interna original, formada por un patrón reticulado fino de elementos verticales denticulados. Muestra BRAI-01A, Objetivo 1X, Luz Natural.

**B.** Estructura interna tabular de un fragmento de coral? típico de ambiente de laguna o post arrecifal (*back-reef*). Los bordes han sido completamente destruidos indicando claramente abrasión durante el transporte o disolución dentro del sedimento. Muestra BRAI-01A, 3.2X, Luz Natural.

**C.** Drusa de esparita sin estructura original preservada de un fragmento de bivalvo (B), el cual muestra alrededor de este un cemento A (flechas), típico de ambientes de aguas someras. Al lado se observa un cristal amorfo de calcita monocristalino de un equinodermo (E), el cual está ligeramente cubierto de micrita. Muestra BRAI-01B, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**D.** Fragmento de calcita con estructura prismática original aún preservada de un rudista (R), muy comunes de ambientes de plataforma, rampas y arrecifes. Otros componentes que se observan son granos cubiertos (GC), bioclastos (Bc) y pellets (P). Muestra BRAI-03, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**E.** Fragmento de foraminífero bentónico (FB), el cual muestra un caparazón cónico, el corte oblicuo muestra que el cuerpo y cámaras bajas son subdivididos en cámaras más pequeñas, muy probablemente se trata de *Cuneolina* ex gr. *pavonia* d' Orbigny. Estos foraminíferos son abundantes en depósitos de plataforma carbonatadas someras y comúnmente asociados con miliólidos. Este género se extiende desde el Valanginiano hasta el Coniaciano (Pl. 71/8 in Flügel, 2004). Muestra BRAI-05, Objetivo 2.5X, Luz Natural.

**F.** Foraminífero planctónico (FP) caracterizado por un caparazón troncoespiral, muy probablemente se trate de un ejemplar de *Heterohelix* Ehrenberg. El máximo desarrollo y extensión de grandes foraminíferos heterohelicidos ocurrió en el Maastrichtiano (Pl. 73/6 in Flügel, 2004). Muestra BRAI-04, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**G.** Espículas de esponjas. Espículas silicificadas de más de 1 mm de largo (*megascleres*) del tipo espícula monoaxona (EsM) las cuales muestran ligeramente un canal central (e.g. Pl. 78/3 in Flügel, 2004). Muestra BRAI-05, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**H.** Granos agregados (GA). Grano compuesto (*lump*) que consiste de bioclastos, granos cubiertos y pellets unidos entre sí por un cemento microcristalino. Muestra BRAI-05, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

Lámina 18

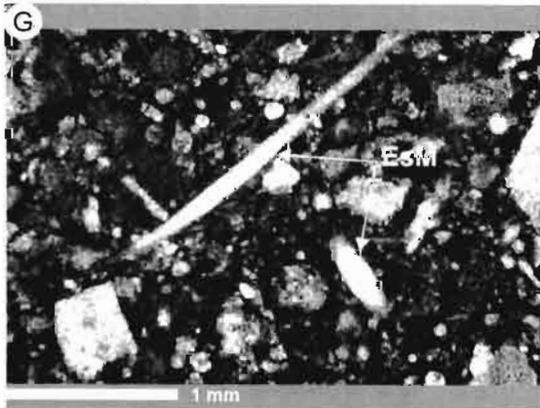
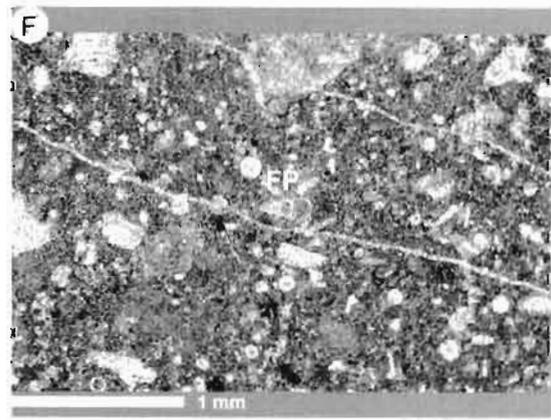
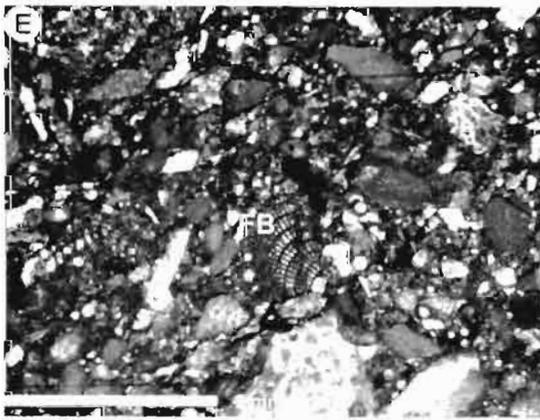
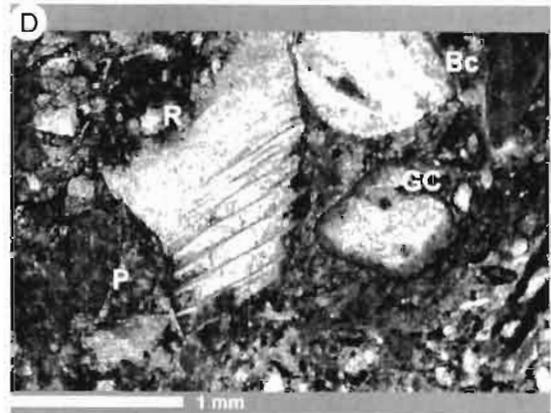
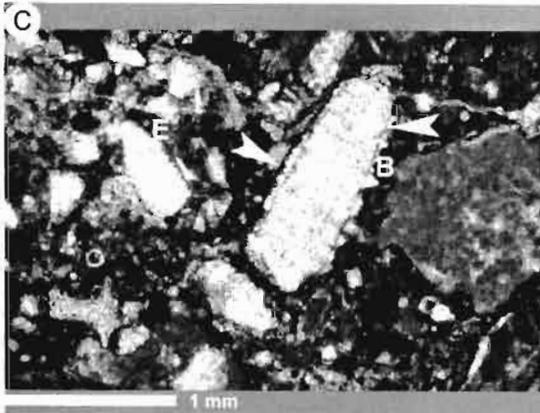
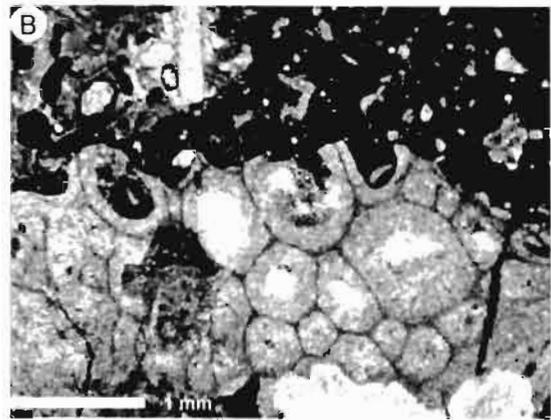
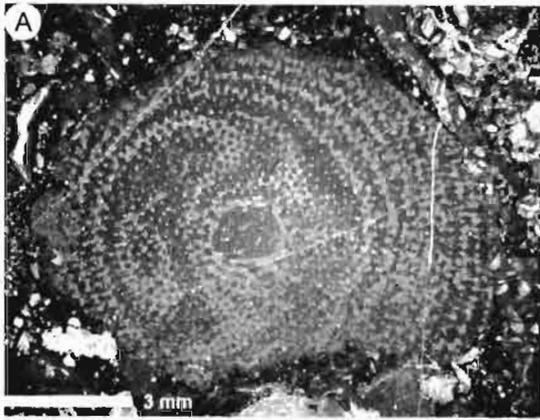
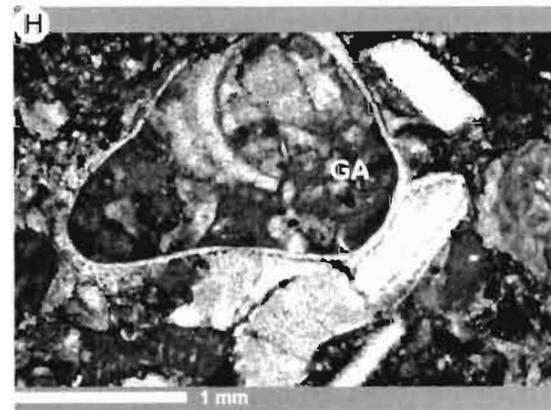
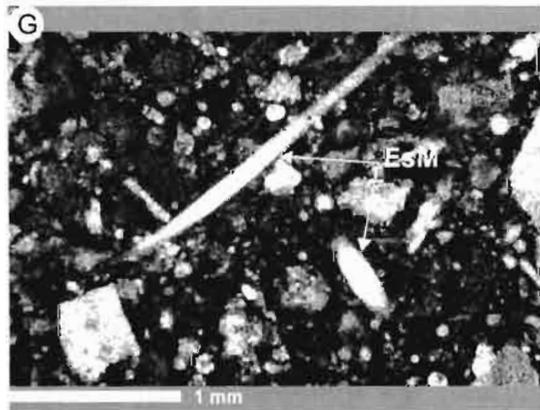
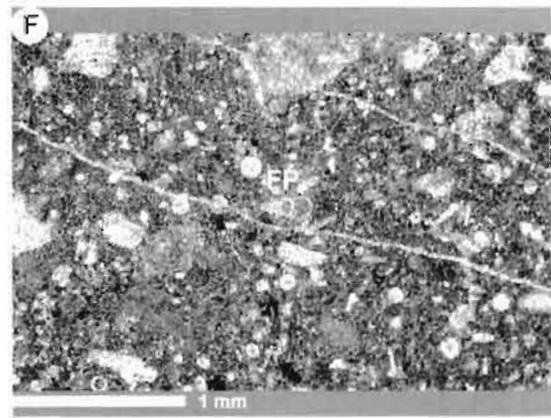
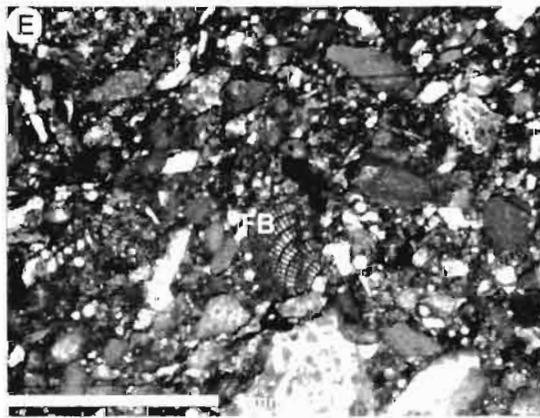
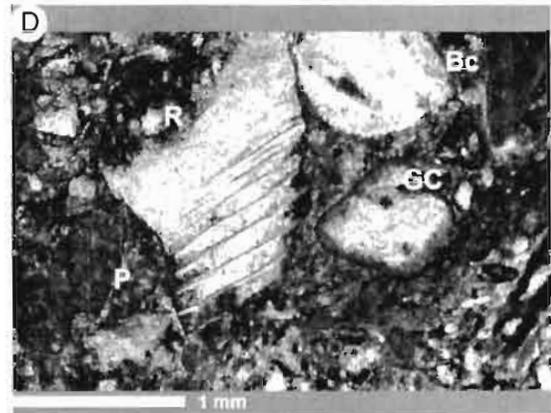
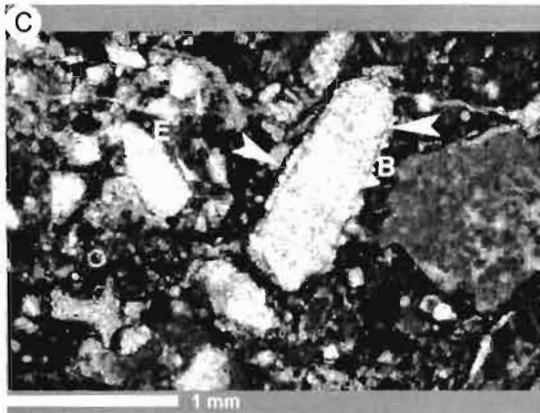
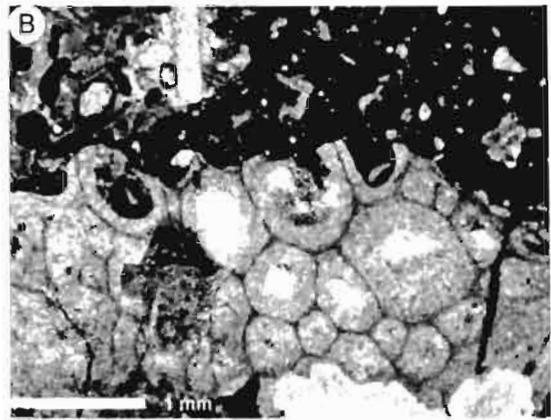
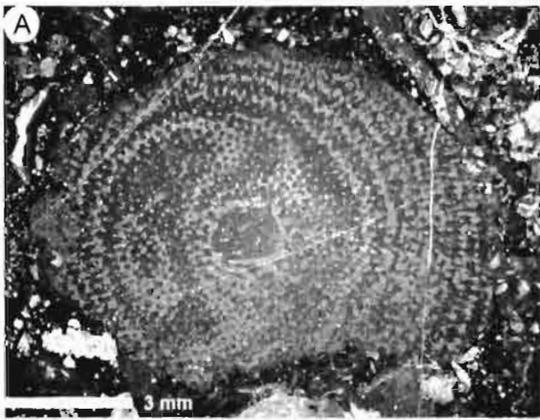


Lámina 18



### 3.3 San Antonio de Eguía

#### Análisis microfacial

De manera general, las brechas de la localidad de San Antonio de Eguía están compuestas por un gran contenido de componentes (70 a 80%), y sus componentes consisten en orden de mayor a menor porcentaje de intraclastos, bioclastos, extraclastos, ooides, pellets y granos cubiertos (Lámina 19 A), los cuales flotan en una matriz micrítica formando una fábrica soportada por lodo; sin embargo, en algunas partes es común observar que el tipo de fábrica varíe a soportada por granos, debido a la alteración de la fábrica original producida por compactación, dando lugar a la formación de estilolitas y productos residuales como arcillas y/o óxidos de hierro, esto último debido a la disolución por presión, por lo que esta brecha puede considerarse también como una *stylobreccia* (pág. 230 in Flügel, 2004) (Lámina 19 B).

La masa básica de estas brechas es predominantemente micrita de color gris claro a gris oscuro, e inclusive tonos pardos (presencia de óxidos), la cual comienza a ser afectada en diferentes grados por la dolomitización (Lámina 19 C).

Los criterios descriptivos que presentan los cristales de dolomita (Lámina 19 D), permiten clasificarla como una dolomita pórfirotopica de cristales rómbicos flotando en matriz (Randazzo y Zachos, 1983) o dolomita idiotopica inequigranular (Friedman, 1965), lo que demuestra una dolomitización claramente epigenética la cual se encuentra remplazando principalmente a la matriz.

Los componentes que se presentan con mayor frecuencia en las láminas delgadas son intraclastos de aguas profundas (Apéndice 9) y consisten principalmente de: 1 – Wackestone de calcíferas, pellets y bioclastos (Lámina 19 E), SMF 2 y 3 (cuenca a plataforma de mar abierto, FZ 1 a 3); 2 – Mudstone pelágico con radiolarios (Lámina 19 F), SMF 3-Rad (cuenca, FZ 1); 3 – Wackestone a packstone con calcíferas y pellets (Lámina 19 G), SMF 2 (comunes en cuencas profundas y plataforma de mar abierto, además en pie de talud-plataforma profunda); 4 – Wackestone con calcíferas, foraminíferos planctónicos, radiolarios, pequeños bioclastos y pellets (Lámina 19 H), SMF 2 (común en zonas de cuenca, plataforma de mar abierto y pie de talud, FZ 1 a 3); 5 – Mudstone con fósiles dispersos (Lámina 20

A), SMF 1 (ambientes de plataforma de mar abierto, FZ 2) y 6 –Wackestone y packstone de grano fino con pellets y calcíferas (Lámina 20 B), SMF 2 (ocurren en zonas de cuencas profundas, plataforma de mar abierto y pie de talud).

La presencia de extraclastos en las muestras es relativamente baja en comparación con los intraclastos y bioclastos, los escasos extraclastos observados en el análisis microfacial de las láminas delgadas consisten de: 1 – Grainstone de bioclastos cubiertos, pellets y foraminíferos bentónicos (Lámina 20 C), 2 – Packstone de pellets y bioclastos cubiertos (Lámina 20 D) y 3 – Grainstone de bioclastos cubiertos, pellets, ooides (Lámina 20 E); todos estos extraclastos son típicos de una Microfacies estándar (SMF) tipo 11, la cual ocurre principalmente en zonas de bordes de plataforma (FZ 6: barrera) y en zonas de arrecife (FZ 5) (Apéndice 9).

De manera común, en todas las láminas se observaron cavidades o huecos rellenos con pellets y granos micritizados (Lámina 20 F), producto de actividad orgánica (*burrows*). Estos huecos en apariencia llegar a ser muy similares a los extraclastos de zonas de barrera-arrecife descritos anteriormente; sin embargo, la presencia de calcíferas y foraminíferos planctónicos dentro de los huecos indican una bioturbación autóctona (SMF 9), la cual puede ocurrir también en un ambiente de plataforma profunda (FZ 2).

Al igual que los intraclastos, los bioclastos están presentes en un gran porcentaje, aunque con menor frecuencia se encuentran bioclastos de facies de aguas someras en comparación a los de facies de aguas profundas y de talud, dominando claramente los bioclastos de aguas profundas. La macrofauna consiste principalmente de fragmentos de algas (Lámina 20 G), esponjas (Lámina 20 H), moluscos? (Lámina 21 A y C), equinodermos (Lámina 21 B) y amonites (Lámina 21 D). Se observó también un gran porcentaje de microfósiles, principalmente foraminíferos planctónicos (Lámina 21 E) y de manera esporádica se encontraron fragmentos de foraminíferos bentónicos (Lámina 21 F), además es muy común encontrar flotando en toda la matriz pequeñas calcíferas (Lámina 21 D y E). Otros componentes observados en el análisis en un porcentaje muy bajo son pellets, ooides (Lámina 21 G) y esporádicamente pequeños nódulos de pedernal (Lámina 21 H).

### **Interpretación del depósito**

La brecha carbonatada de la localidad de San Antonio de Eguía está constituida de floatstone a rudstone de intraclastos, bioclastos, extraclastos, ooides, pellets y granos cubiertos, la cual comienza a ser afectada por una dolomitización tardía claramente epigenética. Los componentes son subangulosos a subredondeados con baja esfericidad de forma tabular, lo cual indica un transporte relativamente bajo, o bien, la falta de interacción entre los componentes debido a un transporte soportado en lodo. Esta brecha presenta características típicas de una Microfacies Estándar 4 (microbrecha, packstone o rudstone bioclástico-litoclástico) la cual incluye mayormente componentes de ambientes de talud a cuenca, representados por intraclastos de aguas profundas (SMF 1, 2 y 3) y bioclastos incluyendo bivalvos, equinodermos, amonites, foraminíferos planctónicos y calcíferas. La presencia esporádica de bioclastos como algas, esponjas y foraminíferos bentónicos (p.e. *Cuneolina ex gr. pavonia* d'Orbigny), extraclastos y ooides, indica un aporte relativamente muy bajo de material proveniente del margen arrecifal e inclusive detrás del mismo, evidenciando la ausencia de un borde arrecifal continuo en el margen de la plataforma (*patch reefs*), o bien, la presencia de montículos lodosos discontinuos (*downslope mud accumulations*) en esta área. Los escasos componentes de origen arrecifal, da lugar a que los extraclastos (con características de un SMF 11) puedan ser considerados como material originalmente depositado como calciturbiditas distales (*distal calciturbidites*) en un ambiente de talud y que posteriormente fue removido como material consolidado a zonas más profundas. En conjunto, el bajo contenido de material alóctono (ausencia de material típico de una zona arrecifal), la presencia de turbiditas calcáreas, alto contenido de material autóctono (intraclastos y bioclastos) y todo soportado en una matriz micrítica rica en foraminíferos planctónicos y calcíferas, representa la parte distal de un depósito de flujo de detritos en una zona de pie de talud a cuenca (FZ 3 a 1, Apéndice 9).

## Lámina 19. San Antonio de Eguía

A. Dolofloatstone de intraclastos (Ic), bioclastos (Bc), extraclastos (Ec), ooides (O), pellets y granos cubiertos / Dolointrabioextraoepelmicrudita. Brecha calcárea compuesta por un gran contenido de componentes (70-80%), los cuales flotan en una matriz micrítica formando una fábrica soportada por lodo. Muestra BRMC-03C, Objetivo 1X, Luz natural.

B. En algunas partes de la brecha de San Antonio de Eguía la fábrica tiende a ser soportada por granos, debido a la disolución por presión como lo muestran el contacto de tipo estilolítico o de sutura entre los componentes (flechas). Dentro de las estilolitas se observan residuos de arcillas u óxidos y cristales de dolomita, además es común encontrar entre los componentes calcita reactante (CR) formada por la disolución de algunos componentes. Muestra BRMC-01B, Objetivo 2X, Luz natural.

C. Fotografía a detalle de la matriz de la Brecha de San Antonio de Eguía predominantemente compuesta de micrita (Mc) de color gris oscuro, la cual puede llegar a encontrarse dolomitizada en diferentes grados. Muestra BRMC-03C, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

D. Fotomicrografía a detalle de la dolomitización incipiente que comienza a afectar únicamente a la matriz original. Los criterios descriptivos de la dolomitización son: cristales inequigranulares, rómbicos; subhedrales a eudrales, los cristales se encuentran flotando en la matriz, fábrica porfirotopica, caras de los cristales bien preservadas, cristales de tamaño entre 0.05 a 0.2 mm (fino a medio), los cristales muestran centros nublados y bordes claros. Muestra BRMC-03A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

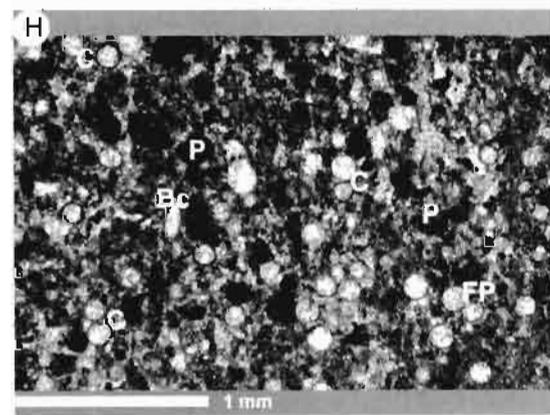
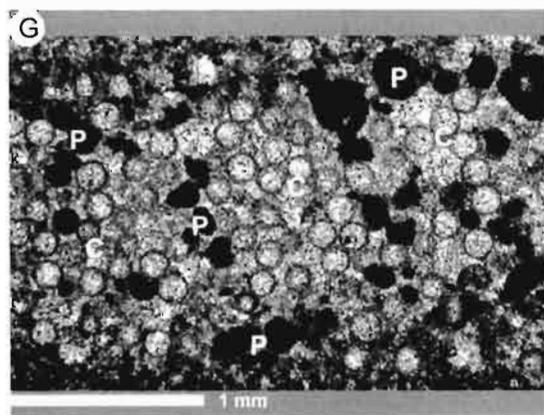
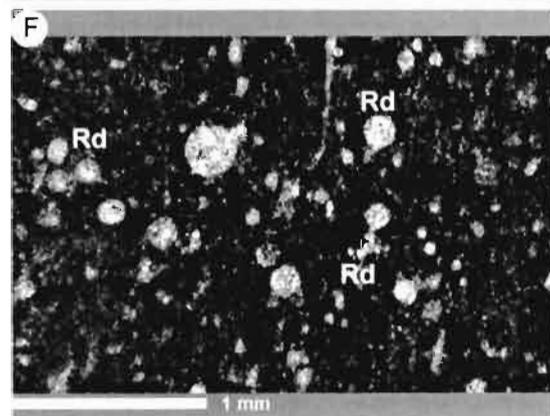
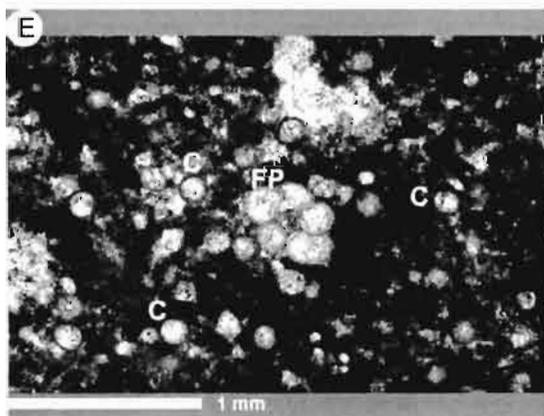
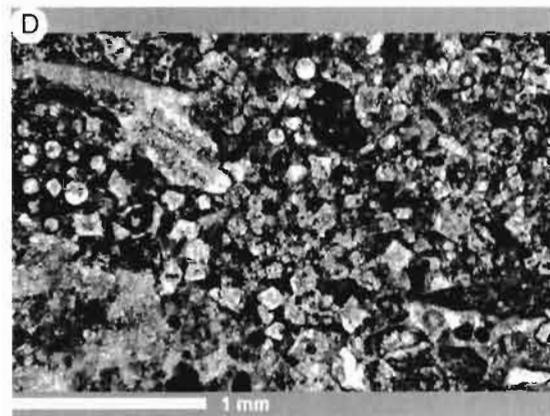
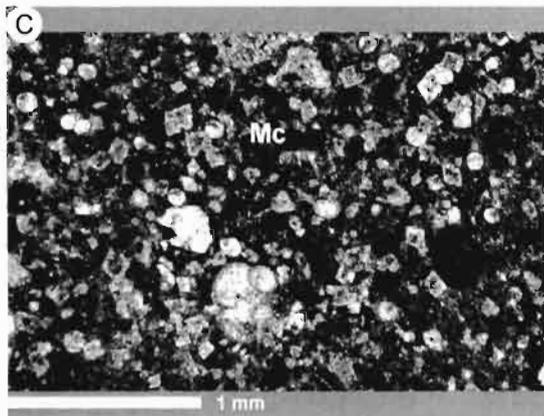
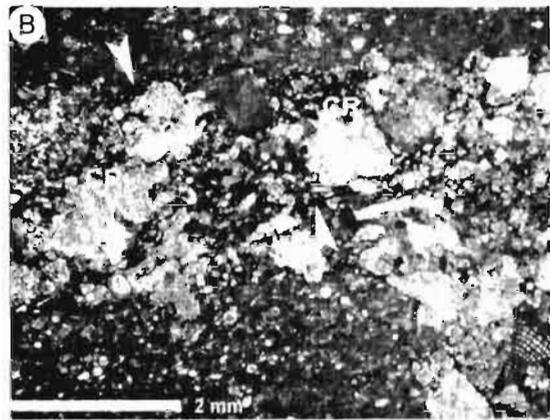
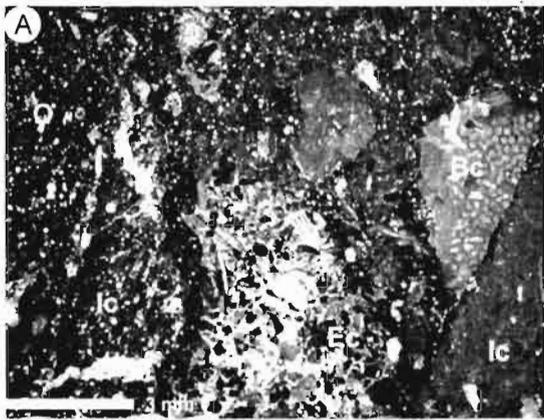
E. Wackestone con calcíferas, pellets y bioclastos / Pelbiomicrita con calcíferas. Clasto compuesto por más del 10% de componentes (todos <2 mm) los cuales consisten de calcíferas con pared (C), bioclastos como bivalvos, equinodermos, foraminíferos planctónicos globulares (FP) y pellets. Todos los componentes flotan en una matriz micrítica formando una fábrica soportada por lodo. Muestra BRMC-01A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

F. Mudstone con radiolarios / Biomicrita con radiolarios. Clasto compuesto por más del 90% de matriz micrítica de color gris y con un contenido menor al 10%. Los escasos componentes constan de radiolarios (Rd) y pequeños bioclastos. Muestra BRMC-01A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

G. Wackestone a packstone de calcíferas y pellets. Laminación rítmica milimétrica de calcíferas (C) y pellets (P), en una fábrica que varía de soportada en matriz a soportada por granos principalmente en una masa básica micrítica-microesparítica. Muestra BRMC-01A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

H. Wackestone con bioclastos y pellets / Biopelmicrita. Clasto compuesto por más del 10% de componentes, los cuales consisten de calcíferas con pared (C), foraminíferos planctónicos globulares (FP), radiolarios, pequeños bioclastos (Bc) y pellets (P), los cuales flotan en una matriz micrítica formando una fábrica soportada por lodo. Muestra BRMC-03A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

Lámina 19



## Lámina 20. San Antonio de Eguía

**A.** Mudstone con bioclastos / Biomicrita. Clasto compuesto mayormente de una matriz pelmicrítica la cual comienza a esparitizarse. Los escasos componentes son todos <2 mm y se encuentran flotando en la matriz, consisten de cortes radiales de pequeños bivalvos (B) los cuales están completamente rellenos de calcita recristalizada, además de algunas calcíferas y radiolarios. Muestra BRMC-03A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**B.** Intercalación de wackestone (Ws) y packstone (Ps) con pellets y calcíferas / Pelbiomicroesparita. Clasto compuesto de laminas milimétricas de micrita/microesparita con pellets y calcíferas. Muestra BRMC-03B, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**C.** Grainstone de bioclastos cubiertos pellets y / Biopeloesparita. Clasto compuesto de una masa básica esparítica y por más del 10% de componentes menores a 2 mm, la mayoría consisten de bioclastos cubiertos (GC) los cuales exhiben cubiertas micríticas o están completamente micritizados, asociados con pellets (P) y algunos foraminíferos bentónicos aglutinados (FB) de tamaño pequeño. Muestra BRMC-03A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**D.** Packstone de pellets y bioclastos cubiertos / Pelbiomicroesparita. Clasto compuesto por más del 10% de componentes (todos <2 mm), principalmente bioclastos cubiertos y pellets. Aunque el contenido de componentes es alto se alcanza a reconocer que flotan en una matriz micrítica-microesparítica. Muestra BRMC-03A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

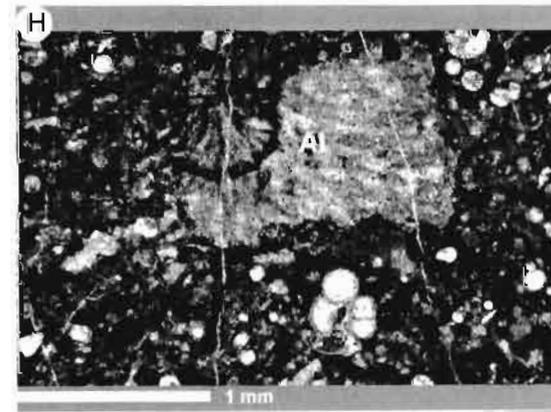
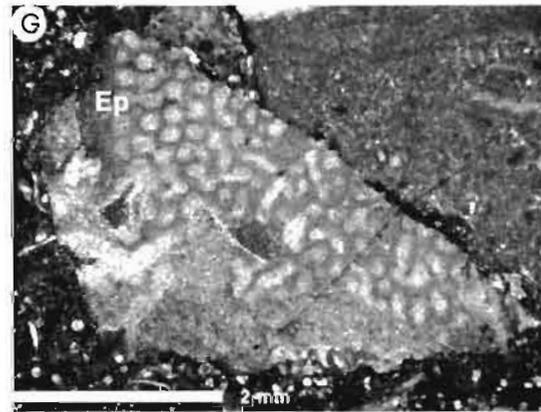
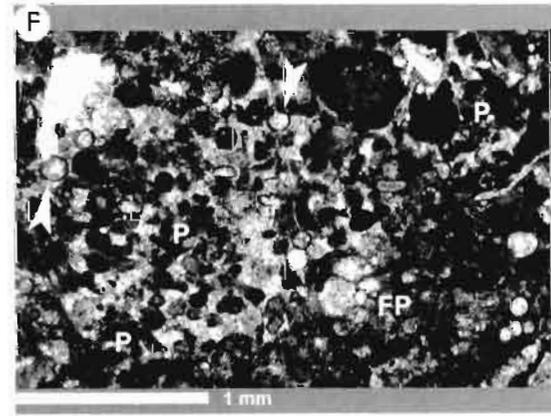
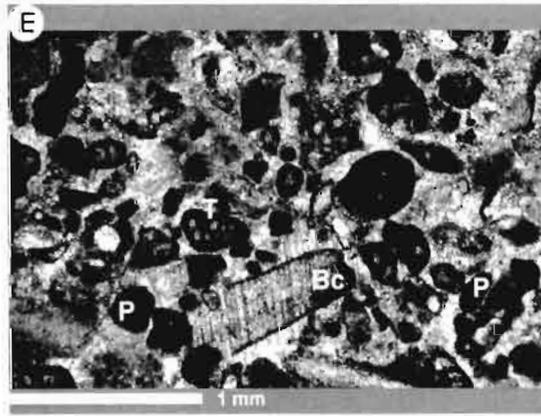
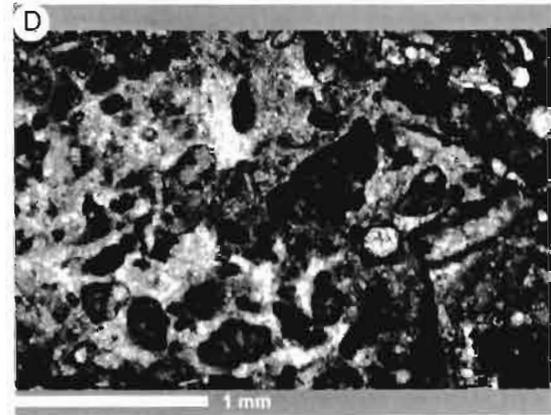
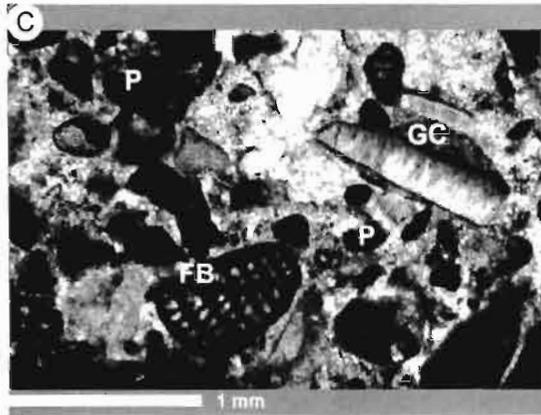
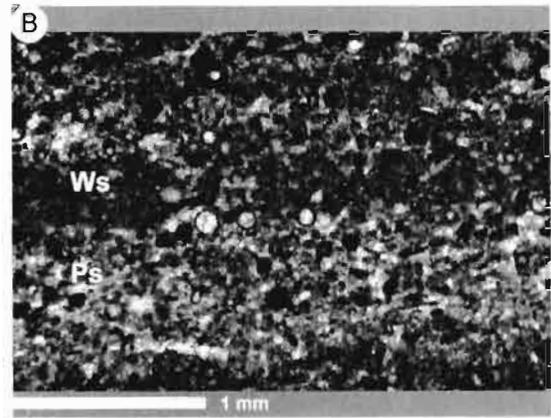
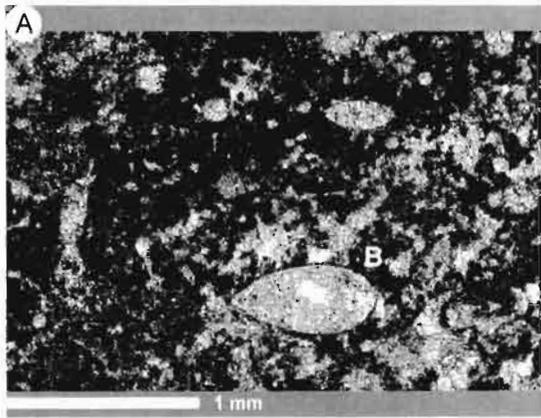
**E.** Grainstone de bioclastos cubiertos, pellets, ooides / Biopeloesparita. Clasto compuesto por una masa básica esparítica y un alto contenido de componentes, la mayoría consisten de bioclastos cubiertos y algunos pellets (P) y ooides (O). Los bioclastos (Bc) son fragmentos de moluscos y foraminíferos biseriales aglutinados (T: *Textularia sp.*). Muestra BRMC-03B, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**F.** Clastos no mayores de 6 mm, sin bordes bien definidos, los cuales se han considerado como cavidades o huecos rellenos con pellets (P), granos micritizados, calcíferas (flechas) y foraminíferos planctónicos (FP), producto de actividad orgánica (*Burrows*). Muestra BRMC-03B, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**G.** Microestructura de un fragmento de esponja calcárea (Ep), el cual muestra canales irregulares rellenos con micrita, mientras que la estructura de las paredes originales han sido remplazadas por esparita. Muestra BRMC-03C, Objetivo 2.5X, Luz natural.

**H.** Bioclasto en el cual se observa la estructura interna de tipo radial simétrica de elementos a partir de una cavidad central (*thallus?*), característica común en las algas (A), sin embargo, no fue posible determinar el género al que pertenece. Muestra BRMC-03B, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

Lámina 20



## Lámina 21. San Antonio de Eguía

A. Fragmentos de bivalvos (B), en los que se observan relictos de una estructura interna foliada (fragmento en la parte superior), mientras que en el otro solo se aprecia una drusa de esparita sin estructura interna preservada (parte inferior). Ambos fragmentos presentan *microborings* (flechas). Muestra BRMC-03C, Objetivo 5X, Nicoles paralelos.

B. Fragmentos de moluscos sin determinar. Muestra BRMC-03B, Objetivo 5X, Nicoles paralelos.

C. Fotografía en la que se muestran la sección transversal (en el centro) y sección oblicua (en la parte inferior derecha) de dos espinas de equinodermo, las cuales muestran un patrón radial alrededor de un canal o centro irregular. En la parte superior derecha se observa un fragmento de equinodermo mostrando la característica extinción y uniforme microestructura granular. Muestra BRMC-03B, Objetivo 5X, Nicoles paralelos.

D. Fragmento asociado con amonites e interpretado como parte de su estructura u ornamentación. Muestra BRMC-03B, Objetivo 5X, Nicoles paralelos.

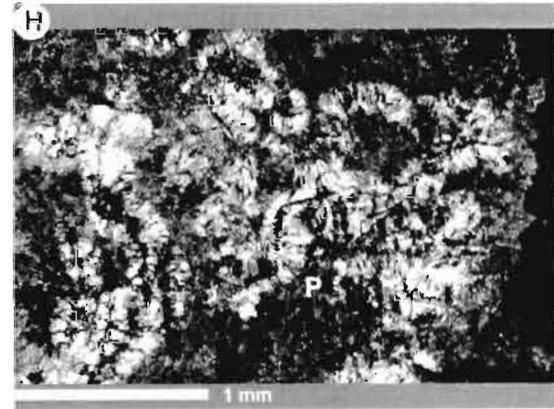
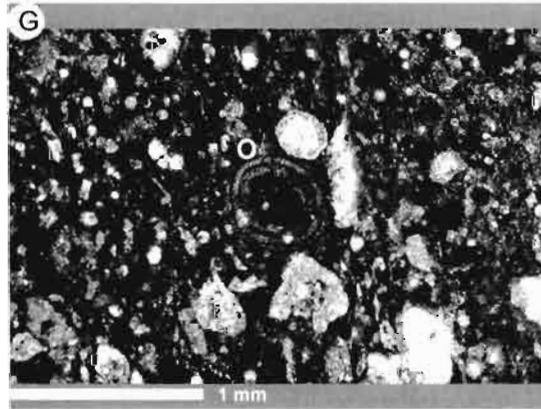
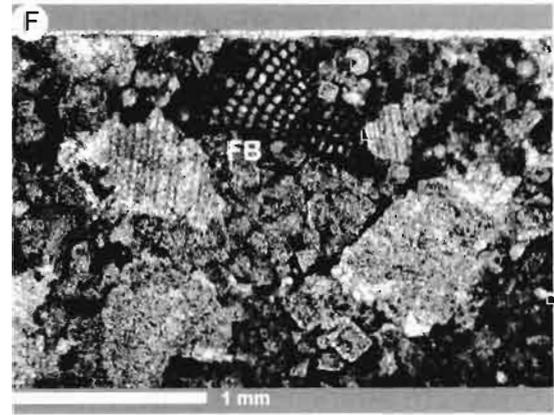
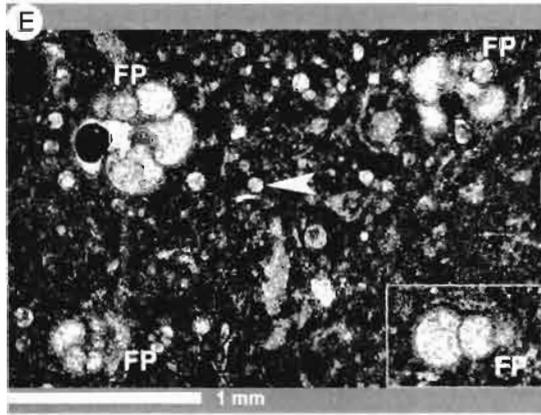
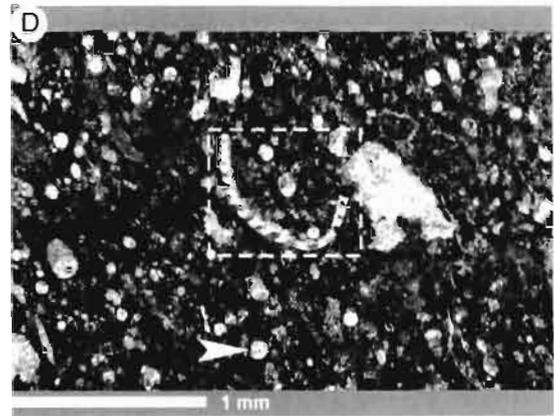
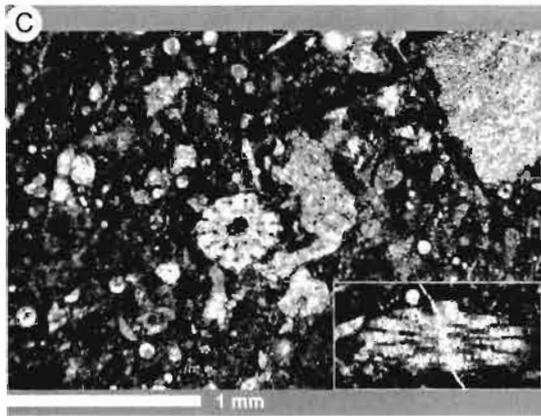
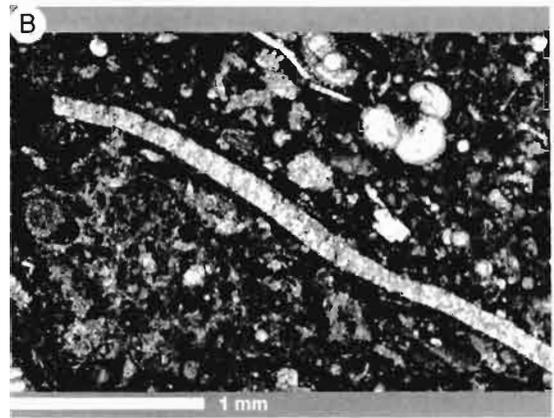
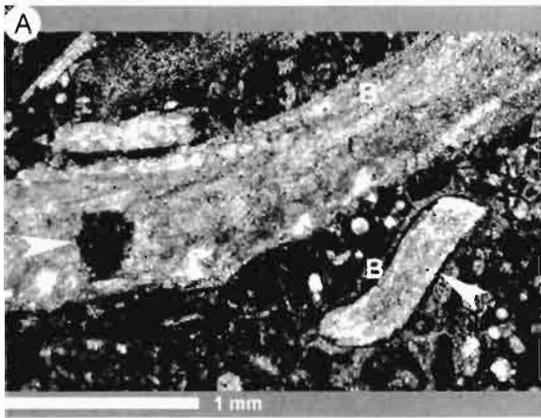
E. Foraminíferos planctónicos (FP) comúnmente asociados con calcíferas (flecha). Se caracterizan por poseer caparazones troncoespirales enrollados, cámaras esféricas, las paredes presentan una estructura porosa radial y comúnmente son muy delgadas. Probablemente se trate de *Hedbergella sp.*, las cuales son constituyentes importantes de sedimentos de aguas profundas del Cretácico Temprano. En la parte inferior derecha se muestra una fotografía de un foraminífero planctónico uniserial no determinado el cual muestra la ornamentación de sus paredes. Ambas fotografías son de la muestra BRMC-03C, Objetivo 5X, Nicoles paralelos.

F. Foraminífero bentónico (FB) de caparazón cónico el cual muestra en esta sección axial oblicua que las cámaras bajas son subdivididas en cámaras más pequeñas. Probablemente se trate de *Cuneolina ex gr. pavonia* d'Orbigny, común en plataformas carbonatadas, Valanginiano-Coniaciano (Pl. 71/8 in Flügel, 2004). Muestra BRMC-01A, Objetivo 5X, Nicoles paralelos.

G. Fotomicrografía de un ooide (O) el cual muestran las siguientes características: baja abundancia, ooides simples, de tipo concéntrico-radial, mayormente de forma esférica, tamaño 0.2 a 0.5 mm, mal sorteados, núcleos de micrita, lámelas compuestas de micrita, variación en el número de anillos y formados no uniformemente, no hay contacto entre los ooides. Muestra BRMC-03B, Objetivo 5X, Nicoles paralelos.

H. Fotomicrografía a detalle de pequeños nódulos de pedernal (P), compuestos de calcedonia gruesa fibrosa. Muestra BRMC-03A, Objetivo 5X, Nicoles cruzados.

Lámina 21



### **3.4 El Coro**

#### **Análisis microfacial**

Brecha calcárea compuesta por una masa básica micrítica a esparítica con un gran contenido de componentes (>70%) siendo más del 10% de estos mayores a 2 mm, los cuales pueden llegar a presentarse en una fábrica soportada en matriz hasta soportada por granos. Las muestras descritas (CORO-1 y CORO-2) presentan una destrucción casi completa de la fábrica original debido al extremo reemplazamiento de la masa básica y de sus componentes originales por cristales subhedrales e inequigranulares del mineral dolomita, logrando reconocer únicamente algunos componentes tales como clastos sin poder determinar su contenido y textura (pudieran ser intraclastos y/o extraclastos) y fantasmas o moldes de bioclastos (Lámina 22 A). Ocasionalmente en algunas partes presenta un reemplazamiento de sílice en forma botroidal? (Lámina 22 B).

La terminología básica de fábricas dolomitizadas usada en láminas delgadas considera especialmente criterios como la forma del cristal, relaciones entre los cristales y la distribución uniforme o no uniforme del tamaño de estos, lo que permite clasificarla como una dolomita de mosaico inequigranular (Randazzo y Zachos, 1983) o dolomita hipidiotopica inequigranular (Friedman, 1965), lo cual indica una dolomitización muy tardía claramente epigenética (Lámina 22 C).

#### **Interpretación del depósito**

La brecha carbonatada de El Coro esta constituida principalmente de un rudstone a floatstone de intraclastos, extraclastos y bioclastos, la cual ha sido dolomitizada casi en su totalidad, por lo que también puede ser clasificada como un dolorudstone a dolofloatstone de intraclastos, extraclastos y bioclastos. Debido al reemplazamiento casi extremo de la masa básica y de sus componentes originales no fue posible determinar las microfacies estándar de los mismos en el análisis microfacial; sin embargo, la interpretación del depósito se realizó únicamente en base a las observaciones realizadas en el campo. La presencia de intraclastos en el afloramiento, representados por fragmentos angulosos de forma tabular de mudstone a wackestone laminados así como fragmentos de capas de pedernal indican una

sedimentación lenta in situ depositada en ambientes de aguas profundas característica de zonas de facies de cuenca, plataforma de mar abierto e inclusive pie de talud (FZ 1 a 3, Apéndice 9), los cuales coexisten con componentes claramente de un origen alóctono representados por bioclastos (p.e. rudistas y bivalvos) y extraclastos compuestos de fragmentos subangulosos-subredondeados de grainstone a rudstone de bioclastos así como bloques de varios decímetros de diámetro con fauna típica de un margen arrecifal (p.e. rudistas), los cuales indican un origen de aguas menos profundas, probablemente de zonas de facies pre-arrecifales y del arrecife (FZ 4 y 5, Apéndice 9) que se depositaron debido a procesos gravitacionales y de suspensión. La mezcla de componentes de origen autóctono y alóctono indican que esta brecha se formó debido al colapso de un margen arrecifal inestable, lo que provoco la caída y formación de grandes fragmentos de roca (*submarine rockfalls*), que fueron transportados y canalizados a través del talud, originando a la vez el deslizamiento en masa (*slide*) que dio lugar a un flujo de escombros compuesto de clastos soportados y acarreados por una mezcla de lodo y agua (*debris flow*) a lo largo del talud formando una brecha de grano grueso la cual se depositó finalmente en la parte más distal del talud hasta zonas del pie de talud (FZ 4 y 3, Apéndice 9).

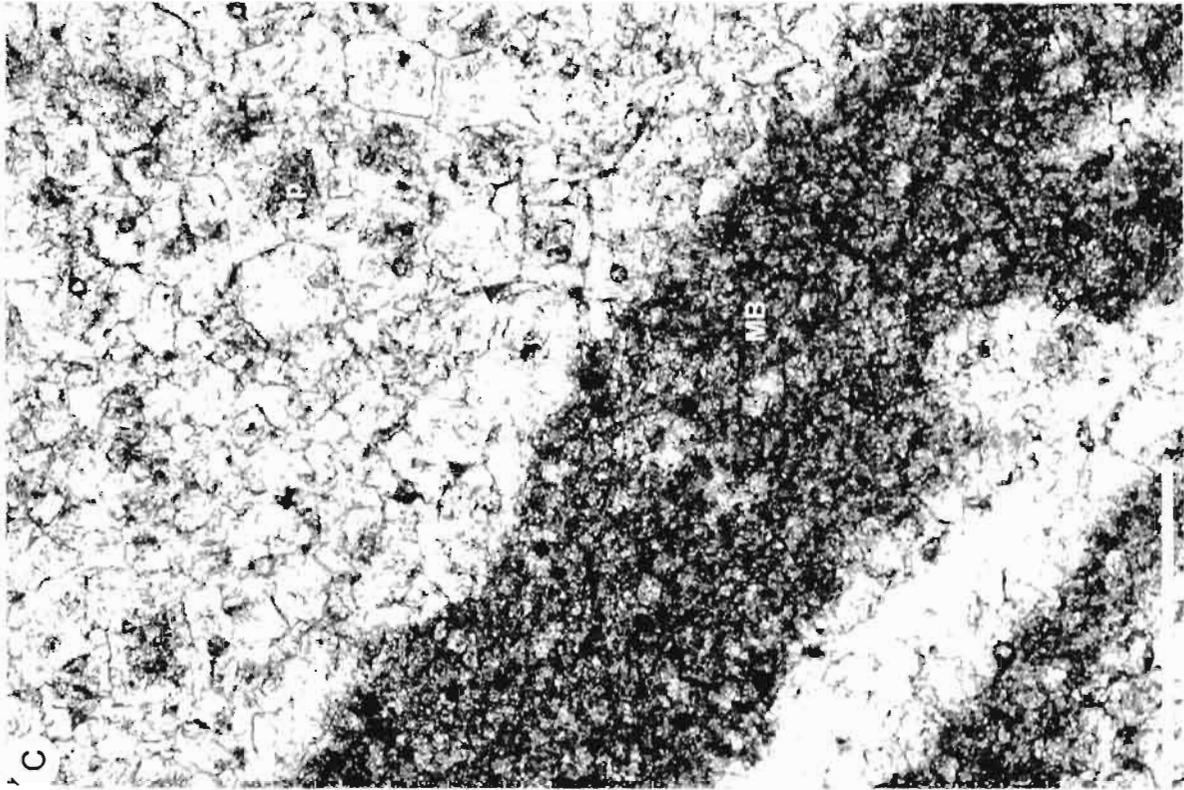
## **Lámina 22. El Coro**

**A.** Dolofloatstone de bioclastos e intraclastos o extraclastos / Dolobiomicrudita. Fotomicrografía de las brechas de El Coro las cuales sufren un remplazamiento casi total de la caliza original por cristales hipidiomórficos del mineral dolomita, sin embargo, aún es posible reconocer algunos componentes, principalmente clastos (Cl) y bioclastos (Bc) los cuales flotan en una matriz micritica. Muestra CORO-01, Objetivo 0.8X, Luz natural.

**B.** Fotomicrografía en la cual se observa una textura fibrosa gruesa de calcedonia. Muestra CORO-02, Objetivo 4X, Nícoles cruzados.

**C.** Fotomicrografía a detalle de la dolomitización claramente epigenética selectiva, la cual ha afectado mayormente a los componentes (Cp) que a la masa básica (MB), la cual muestra los siguientes criterios descriptivos: cristales inequigranulares, no rómbicos; anhedrales a subhedrales fuertemente empaquetados, de fábrica hipidiotopica, límites intercristalinos curvos y rectos, algunos caras de los cristales se preservan, tamaño de grano entre 0.1 y 0.4 mm (medio a grueso). Muestra CORO-01, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

Lámina 22



### 3.5 Corazones

#### Análisis microfacial

En general, esta brecha muestra un gran contenido de componentes (>60%), de los cuales más del 10% son mayores a 2 mm, consistiendo principalmente de intraclastos, extraclastos, bioclastos, ooides, pseudopellets y granos agregados, los cuales llegan a presentarse en una fábrica que varía desde soportada en lodo hasta soportada por granos, todas las láminas delgadas muestran indicios de una matriz micrítica original la cual ha sido remplazada casi en su totalidad por cristales de dolomita (Lámina 23 A).

La masa básica varía desde un 20 hasta un 35% en las láminas analizadas, y en todas ellas se observaron evidencias de una matriz micrítica de color gris claro, la cual ha sido remplazada en gran parte por cristales anhedrales a subhedrales (romboedros), equigranulares del mineral dolomita, los cuales exhiben la particular característica de centros nublados y bordes claros. Esta fábrica dolomitizada permite clasificarla como una dolomita de mosaico inequigranular (Randazzo y Zechos, 1983) o dolomita hipidiotópica inequigranular (Friedman, 1965), indicando una dolomitización muy tardía claramente epigenética la cual reemplaza únicamente a la masa básica (Lámina 23 B), y solo en un par de intraclastos (p.e. muestra BRCZ-11A) se encontraron algunos cristales romboédricos, idiomórficos, >2 mm de dolomita, por lo que se pudiera considerar como una dolomitización selectiva.

De manera muy esporádica, se observaron en algunas láminas delgadas la presencia de pequeños manchones irregulares de óxidos en la masa básica y dentro de algunos intraclastos (p.e. Lámina 23 E).

Los componentes que se presentan con mayor frecuencia son intraclastos de ambientes de aguas profundas, los cuales muestran las siguientes características texturales y litológicas: 1 – Mudstone a wackestone con radiolarios, globigerinas, tintínidos, filamentos, equinodermos y amonites (Lámina 23 C y D), SMF 3 (cuenca, FZ 1); 2 – Wackestone de filamentos, globigerinas, calcíferas y equinodermos (Lámina 23 E), SMF 1-Burrowed (cuenca y plataforma de mar abierto); 3 – Laminación milimétrica de mudstone y wackestone pelágico con calcíferas, foraminíferos planctónicos y amonites (Lámina 23 F y G), SMF 3 (cuenca y pie de talud, FZ

1-B y 3); 4 – Wackestone con globigerinas y esferulitas de tridimita (Lámina 23 H), SMF 3 (cuenca y plataforma de mar abierto, FZ 1-B y 2); 5 – Wackestone con calcíferas (Lámina 24 A), SMF 3 (calizas pelágicas de cuenca hasta pie de talud, FZ 1 a 3) y 6 – Packstone laminado de pellets, foraminíferos planctónicos y calcíferas (Lámina 24 B), SMF 16-*Laminated* (contribuye a la formación de montículos de lodo y a la estabilización del talud de la plataforma, FZ 4).

Los extraclastos en general, se presentan en menor frecuencia que los intraclastos; sin embargo, durante el análisis microfacial se observó un mayor porcentaje de extraclastos en láminas delgadas de muestras recolectadas hacia la cima de la brecha, donde el tamaño de grano era menor que hacia la base. Estos componentes de origen alóctono muestran las siguientes características: 1 – Wackestone con ooides y granos cubiertos (Lámina 24 C), SMF 15-C, depositados en bancos de ooides cercanos a un margen de plataforma exterior (FZ 6); sin embargo, en comparación con otros granos carbonatados, los ooides son fácilmente retrabajados y transportados por flujos de masa gravitacionales o corrientes turbidíticas formando acumulaciones alóctonas (capas de turbiditas calcáreas) en sedimentos de talud y cuenca (FZ 1 y 4); 2 – Wackestone con bioclastos, granos cubiertos y ooides (Lámina 24 D), SMF 8 o 9 (ambientes de baja energía bajo el nivel de olas, FZ 2 y 7); 3 – Packstone de pellets y bioclastos (Lámina 24 E), SMF 11 o SMF 16? (barrera o laguna restringida); 4 – Grainstone de bioclastos cubiertos y pellets (Lámina 24 F), SMF 11, (zonas de barrera y en arrecifes); 5 – Grainstone con ooides concéntricos y bioclastos (Lámina 24 G), SMF 15 (comúnmente arenas de ooides cercanas al margen de plataforma externo, FZ 6) y 6 – Packstone laminado de pellets y calcíferas (Lámina 24 H), SMF 16 (clasto con una ligera laminación milimétrica, indicando una sedimentación lenta representando un relieve formado por montículos de algas en lagunas restringidas, FZ 8).

En un porcentaje mayor o igual que los extraclastos, se encontraron bioclastos tanto de aguas someras como aguas profundas, entre los que destacan microfósiles de cefalópodos (amonites y belemnites?, Lámina 25 A), bivalvos (Lámina 25 B y C), equinodermos y crinoides (Lámina 25 D), algas (Lámina 25 E), esponjas, mi-

crofósiles planctónicos como globigerinas (Lámina 25 D) y radiolarios; además de algunos bentónicos como miliólidos y orbitolínidos (Lámina 25 F).

Otros componentes observados con menor frecuencia fueron ooides (Lámina 25 G), pseudopellets, granos cubiertos, granos agregados (Lámina 25 H) y nódulos de pedernal.

### **Interpretación del depósito**

La brecha carbonatada que aflora en la localidad de Corazones está constituida mayormente de floatstone (hacia la base y parte media de la brecha) a rudstone (hacia la cima de la brecha) de intraclastos, extraclastos, bioclastos, ooides, pseudopellets y granos agregados. Únicamente, la masa básica está afectada por la dolomitización (epigenética), presentando un mayor grado de dolomitización en muestras de la base de la brecha y en menor grado en muestras de la cima. Cabe señalar que en todo el afloramiento de esta brecha, se logró observar una clara gradación normal hacia la cima, así como un ligero enriquecimiento de componentes de mayor tamaño hacia la parte más distal de la misma, además, en el análisis microfacial se observó un aumento en el contenido de componentes de origen alóctono en muestras de la cima de la brecha.

Todos los componentes son generalmente angulosos a subredondeados con baja esfericidad, de forma tabular y de disco; evidenciando un transporte relativamente bajo o la falta de interacción entre estos debido a un transporte soportado en lodo. Esta brecha presenta un gran contenido de componentes de aguas profundas depositados *in situ*, representados por mudstone-wackestone pelágico y packstone alóctono, compuestos de microfósiles planctónicos (p.e. globigerinas, radiolarios, tintínidos, calcíferas), ocasionalmente pequeños foraminíferos bentónicos y microfósiles como filamentos, equinodermos y nectónicos (amonites); esta litología representa mayormente Microfacies Estándar (SMF) del tipo 1-*Burrowed* y 3, por lo que estos componentes se depositaron en un medio ambiente que abarca desde una zona de pie de talud hasta la cuenca (Apéndice 9).

Los componentes de origen alóctono (extraclastos) están representados mayormente por wackestone, packstone y grainstone compuestos de bioclastos (fora-

miníferos bentónicos, bivalvos, gasterópodos y equinodermos), granos cubiertos (cortoides y pequeños oncoides), ooides, pellets y calcíferas, abarcando Microfacies Estándar (SMF) desde 8, 9, 11, 15 y 16 (Apéndice 9), indicando un origen de aguas poco profundas, comúnmente zonas de facies de arrecife, barrera y laguna restringida (FZ 5, 6 y 8) y bien, acumulaciones alóctonas depositadas como turbiditas calcáreas en el talud (FZ 4).

Esta brecha presenta una mezcla de componentes de origen esquelético tanto de aguas someras (bivalvos, equinodermos/crinoides, algas, esponjas y foraminíferos bentónicos) y de aguas profundas (amonites y microfósiles planctónicos), evidenciando un aporte de bioclastos desde zonas detrás del arrecife y la asimilación de estos conforme el material avanzó a través del talud a zonas más profundas.

El bajo contenido de fragmentos y/o clastos con rudistas, evidencia en esta zona la ausencia de un borde arrecifal continuo, o bien, la presencia de pequeños montículos lodosos (*mud mounds*) o de pequeños arrecifes (*patch reefs*).

De manera general, el arreglo textural y el contenido de componentes de origen autóctono/alóctono determinados en el estudio de las microfacies de muestras recolectadas, indican que este depósito representa una Microfacies Estándar (SMF) del tipo 4 o 6 (Apéndice 9), por lo que se asume que la brecha calcárea de Corazones fue depositada como un flujo de detritos canalizado hasta una zona de cuenca (Apéndice 9).

## Lámina 23. Corazones

**A.** Fotografía general de las brechas de Corazones compuestas por más del 60% de componentes (más del 10% son >2 mm) y consisten principalmente de intraclastos, bioclastos, extraclastos, ooides, pseudopellets y granos agregados, los cuales llegan a presentarse en una fábrica que varía desde soportada en lodo a soportada por granos. La matriz micrítica original ha sido remplazada por cristales de dolomita. Muestra BRCZ-02, Objetivo 1.6, Luz natural.

**B.** Fotografía a detalle de la fábrica dolomitizada la cual muestra los siguientes criterios descriptivos: equigranular, cristales romboédricos, anhedrales a subhedrales, de tamaño fino (1 a 2 mm), cristales soportados, fábrica idiótopica, con centros nubladados y bordes claros. Los dos componentes observados en esta fotografía son una Globigerina (Gl) y un bioclasto sin determinar (Bc). Muestra BRCZ-1A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**C y D.** Mudstone a wackestone con microfósiles pelágicos / Biomicrita con microfósiles pelágicos. Clastos compuestos por poco más del 10% de componentes (todos <2 mm), principalmente microfósiles pelágicos como radiolarios, globigerinas y tintinidos (flechas), seguidos por algunos macrofósiles (filamentos de bivalvos, fragmentos de equinodermos y amonites) y muy ocasionalmente se observaron pequeños foraminíferos bentónicos. Todos los componentes flotan en una matriz de micrita color gris oscuro. Muestra BRCZ-04, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

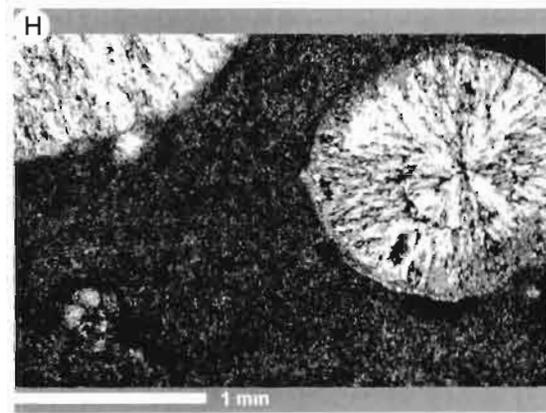
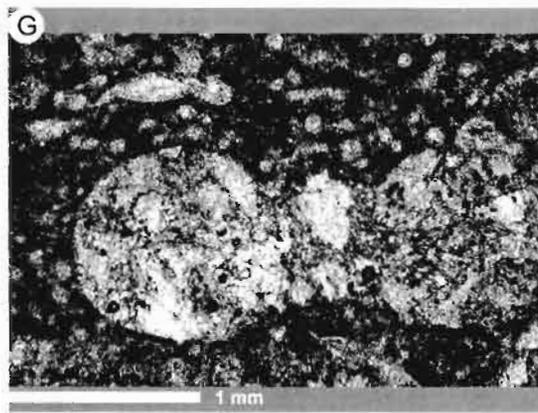
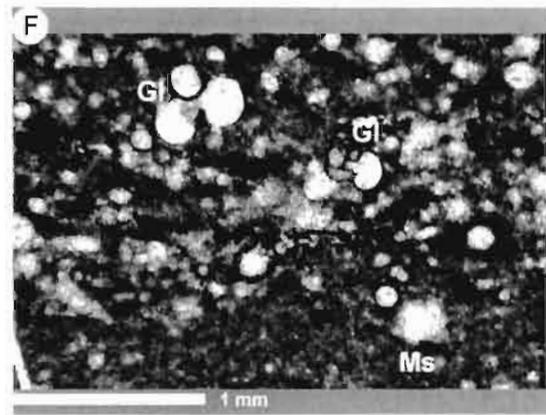
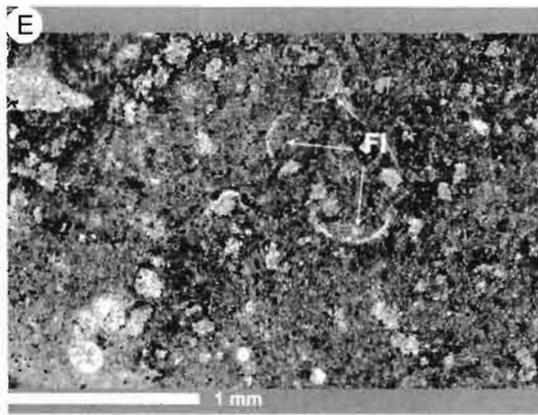
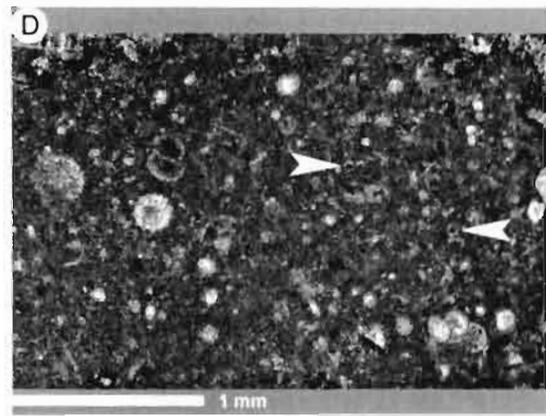
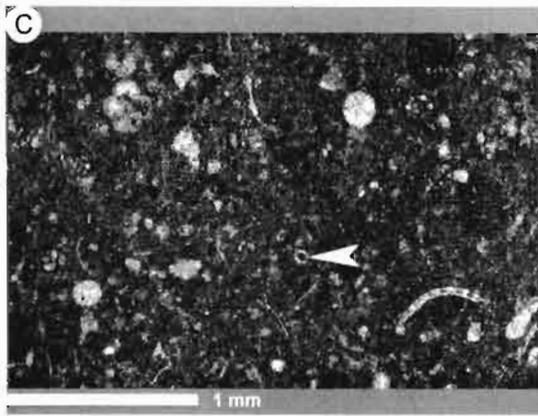
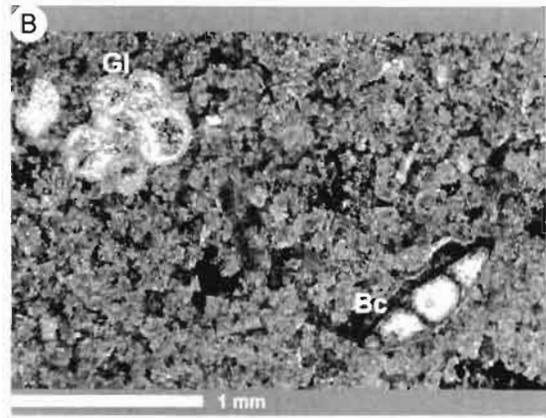
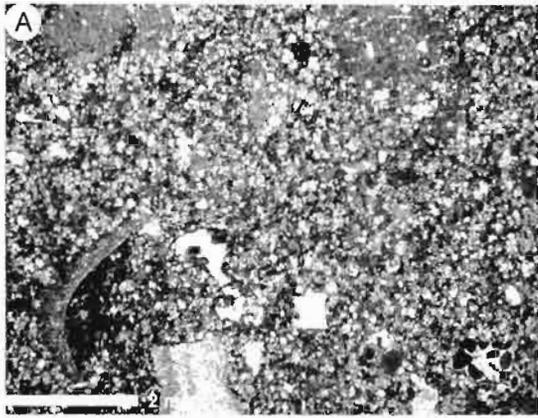
**E.** Wackestone de bioclastos / Biomicrita. Clasto compuesto por aproximadamente 80% de matriz micrítica de color gris claro y el resto son componentes <2 mm y consisten de delgadas conchas de bivalvos pelágicos (filamentos (Fl)), globigerinas, calcíferas y restos de equinodermos. Los componentes flotan dentro de la matriz y está última presenta una ligera bioturbación. Dentro de estos intraclastos se encontraron algunas manchas de óxidos y una ligera dolomitización incipiente. Muestra BRCZ-02, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**F.** Wackestone con microfósiles planctónicos y bioclastos / Biomicrita. Clasto con un contenido mayor al 10% principalmente calcíferas, foraminíferos planctónicos (Globigerinas) y bioclastos soportados en una matriz micrítica de color gris oscuro. Estos intraclastos presentan láminas delgadas (< 4 mm) de micrita (mudstone (Ms)), lo que indica un ambiente deposicional profundo. Muestra BRCZ-01, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**G.** En la fotografía se observa una parte de la sección transversal del plano de enrollamiento de un amonite (As - *ammonoid shells*), el cual está relleno de esparita. Muestra BRCZ-01C, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**H.** Wackestone con bioclastos y nódulos de pedernal / Biomicrita. El contenido de componentes es ligeramente mayor al 10% (todos son <2 mm). Los componentes consisten principalmente de foraminíferos planctónicos (Globigerinas) y pequeñas esferulitas <3 mm de diámetro de tridimita (pedernal), los cuales flotan en una matriz micrítica. Muestra BRCZ-2B, Objetivo 5X, Nícoles cruzados.

Lámina 23



## Lámina 24. Corazones

**A.** Wackestone de bioclastos / Biomicrita. Clasto compuesto por 65% de matriz micritica-microesparítica de color gris claro y ≈35% de componentes, dominando las calcíferas (las cuales presentan una pared delgada), en una fábrica soportada por lodo. Muestra BRCZ-11A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**B.** Packstone laminado de pellets y bioclastos / Pelbiomicroesparita. Clasto compuesto por más del 10% de componentes (todos <2 mm) los cuales flotan en una masa básica compuesta de pelmicrita-pelesparita. Los componentes son principalmente pellets, foraminíferos planctónicos (Globigerinas) y calcíferas con pared. El clasto presenta una ligera laminación. Muestra BRCZ-02, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**C.** Wackestone con ooides y granos cubiertos / Oomicrita. Clasto compuesto por aproximadamente 35% de matriz micritica y 65% de componentes, dominando claramente los ooides y seguidos por granos amorfos micritizados. Los ooides exhiben una abundancia media-alta, son simples, tipo concéntricos (tangencial), mayormente elipsoidales, tamaños de 0.3 a 0.8, de regular a bien sorteados, núcleos de micrita, distinta alternancia en el número de láminas de micrita-esparita. El tipo de fábrica es soportada en lodo. Muestra BRCZ-11C, Objetivo 1.6X, Luz natural.

**D.** Wackestone de bioclastos, granos micritizados y ooides / Bioomicrita. Clasto compuesto por más del 10% de componentes (en su mayoría son <2 mm) y están soportados en una matriz micritica de color gris claro. Los componentes son mayormente bioclastos, entre los que se observan fragmentos de bivalvos, gasterópodos (G) y espinas de equinodermos (flecha), además de granos micritizados y ooides. Muestra BRCZ-2B, Objetivo 1.25X, Luz natural.

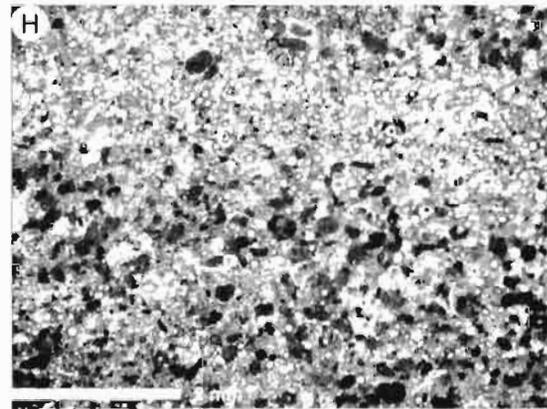
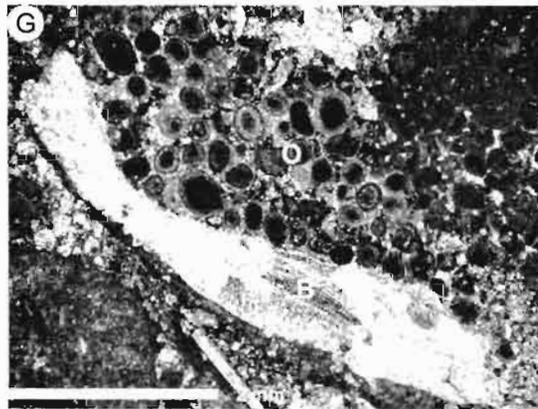
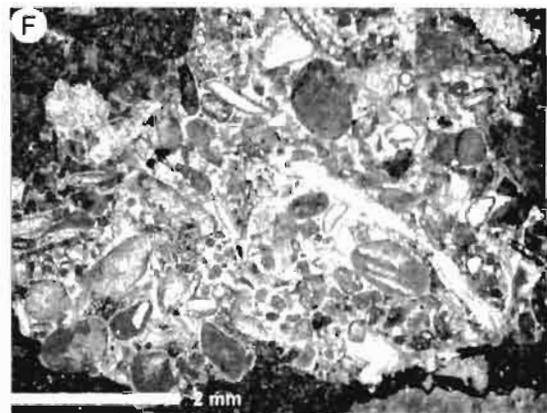
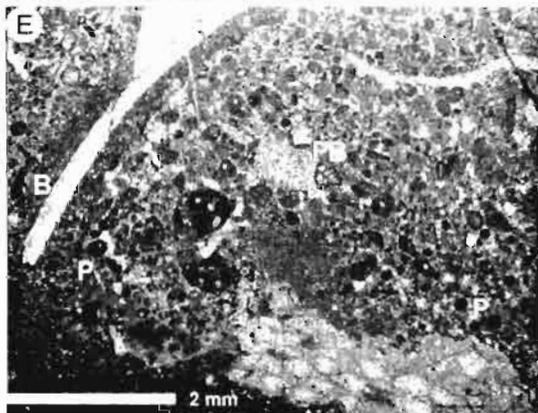
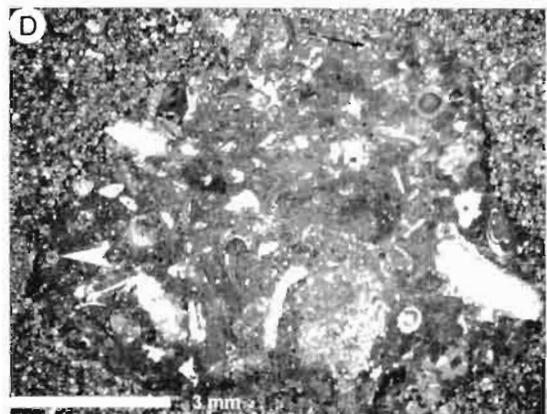
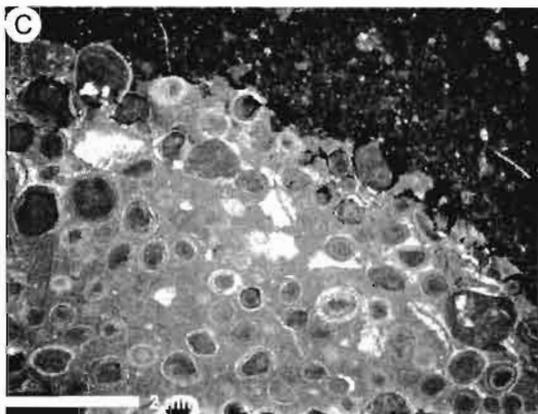
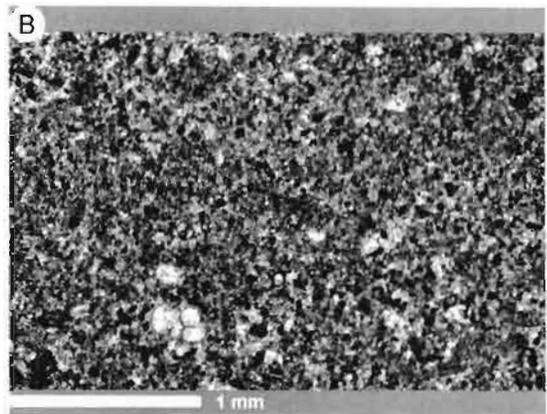
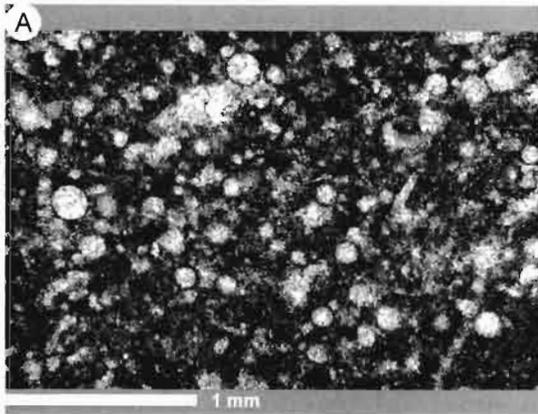
**E.** Packstone de pellets y bioclastos / Biopelmicrita. Extraclasto compuesto por más del 10% de componentes (la mayoría es <2 mm), dominando los pellets (P) y seguidos por bioclastos como bivalvos (B) y foraminíferos bentónicos biseriales (FB)). La escasa masa básica consiste de micrita-pelmicrita, formando una fábrica soportada por granos. Muestra BRCZ-3A, Objetivo 2.0X, Luz natural.

**F.** Grainstone de pellets y bioclastos cubiertos / Biopelasparita. Extraclasto compuesto por una matriz esparitica soportando componentes que en general son menores a 2 mm. La mayoría de los componentes son bioclastos cubiertos, exhibiendo cubiertas de micrita o están completamente micritizados. Los bioclastos son mayormente conchas de moluscos. Entre la fábrica soportada por granos es común encontrar pellets. Muestra BRCZ-04, Objetivo 2.0X, Luz natural.

**G.** Grainstone con ooides concéntricos y bioclastos / Oobiomicroesparita. Extraclasto compuesto principalmente por ooides de tipo concéntricos (tangenciales) regularmente sorteados lo que indica un depósito autóctono, algunos ooides están micritizados casi en su totalidad, además también se observaron algunos bioclastos como bivalvos (B) y miliólidos. La masa básica es mayormente micrita y solo en algunas partes cambia a esparita, sobre todo entre los ooides en los cuales llega a presentarse un cemento fibroso (Tipo A). El tipo de fábrica es soportada en granos. También puede considerarse como una estructura geopetal. Muestra BRCZ-04, Objetivo 2.5X, Luz natural.

**H.** Packstone laminado de pellets y calcíferas / Pelbioesparita. Clasto compuesto por pellets muy pequeños, subredondeados a redondeados, asociados con calcíferas. La masa básica varía de micrita a esparita, formando una fábrica mayormente soportada por granos. Muestra BRCZ-11B, Objetivo 2.0X, Luz natural.

Lámina 24



## Lámina 25. Corazones

**A.** Fragmento de cefalópodo (*Belemnite guards*). Sección transversal de la parte central de un belemnite el cual muestra una estructura interna fibrosa con muy delgados prismas de calcita saliendo de un punto en el centro. Los anillos concéntricos sobre este punto indican etapas de crecimiento. Bajo luz polarizada, se puede observar una extinción cruzada, resultado de la orientación radial de los primas individuales (Pl. 90/7 in Flügel, 2004). Muestra BRCZ-1A, Objetivo 1.6X, Luz natural.

**B.** Microestructura de un bivalvo (*Pycnodonte?*). Fragmento anguloso de una concha de bivalvo, el cual exhibe microestructuras vesiculares (V) hacia la parte interna y foliada (F) hacia los extremos, característico en los *Pycnodontes*. Cretácico (Aptiano) (Pl. 87/7 y 9 in Flügel, 2004). Muestra BRCZ-1B, Objetivo 2.0X, Luz natural.

**C.** Bivalvos. Fragmentos de forma y tamaño variable, sin estructura interna preservada, rellenos de microesparita y en ocasiones ligeramente dolomitizados. Alrededor de estos presentan generalmente un cemento A (flecha). Muestra BRCZ-2A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**D.** Fragmento de equinodermo. Estructura interna extremadamente fina, apariencia polvosa y planos de crucero paralelos bajo luz polarizada. El grano esquelético está cubierta por un anillo de micrita, producido por el relleno de bioturbación (*microborings*). Estos granos también pueden ser considerarse como cortoides. Estos fragmentos de equinodermos son comunes encontrarlos asociados con Globigerinas en la masa básica. Muestra BRCZ-02, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

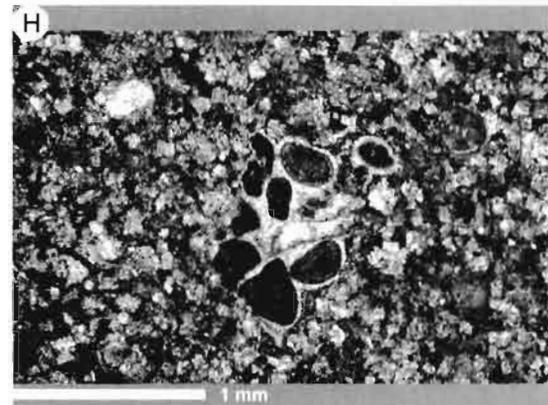
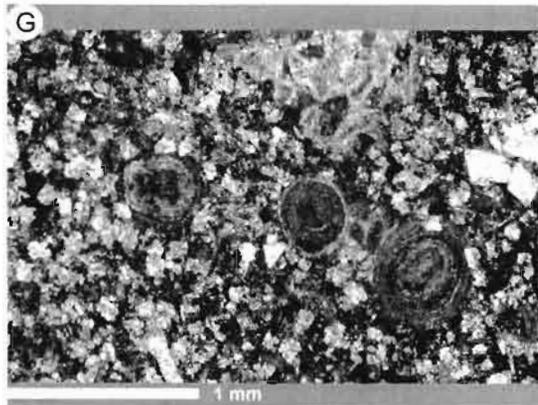
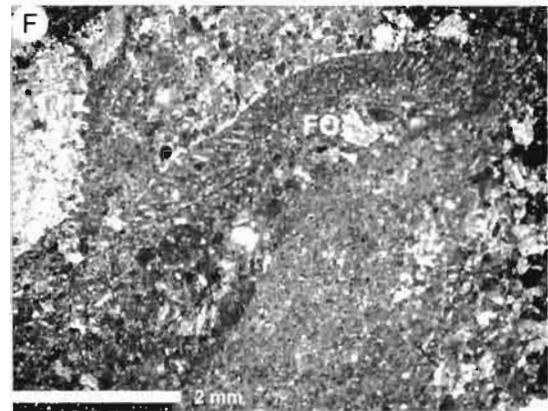
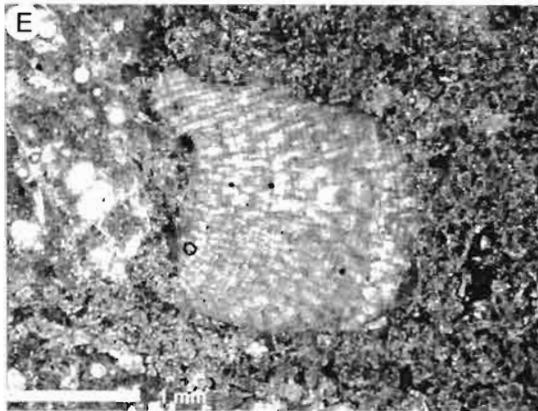
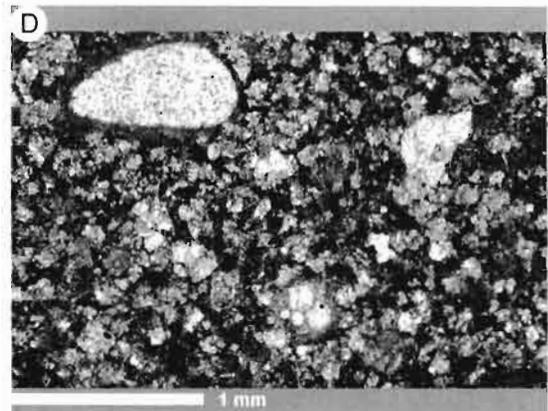
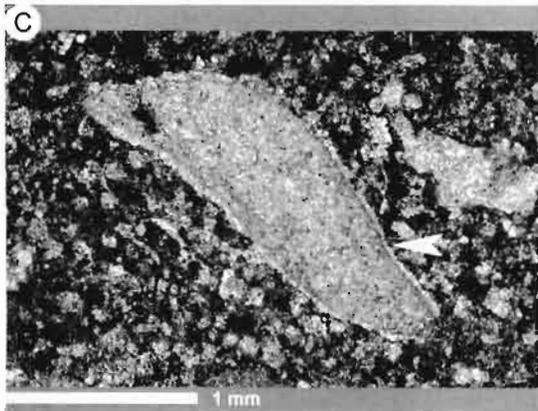
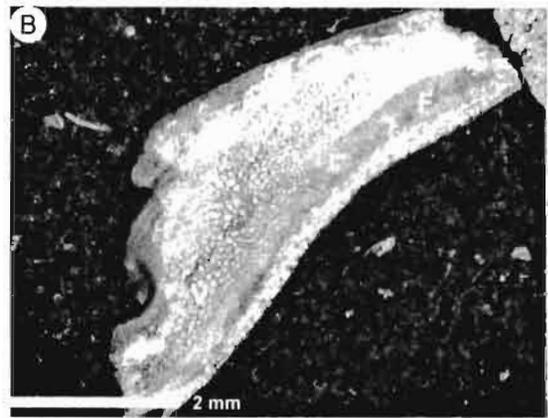
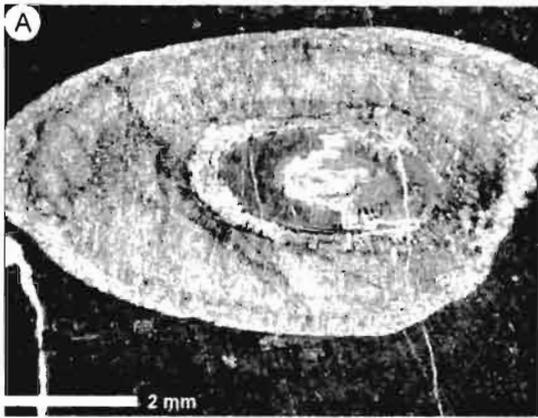
**E.** Alga?. La estructura interna presenta filamentos carbonatados radiales, a manera de tubos o celdas superpuestas con filamentos, muy probablemente sea un fragmento de una Alga Roja?. Muestra BRCZ-3A, Objetivo 3.2X, Luz natural.

**F.** Orbitolinido. Fragmento de un foraminífero aglutinado (FO) soportado en una masa básica de pelmicrita. Estos foraminíferos son comúnmente transportados talud abajo como clastos a ambientes de cuenca. Estos foraminíferos son importantes indicadores bioestratigráficos en plataformas del Barremiano-Cenomaniano. Muestra BRCZ-04, Objetivo 2.0X, Luz natural.

**G.** Ooides alóctonos caracterizados por una baja abundancia, de tipo simple y compuesto, tangenciales, elipsoidales, tamaños desde 0.2 a 1 mm, pobremente sorteados, núcleos de micrita o bioclastos de diferente tamaño, diferencias en el número y espesor de los anillos, no están en contacto entre ellos. Muestra BRCZ-2A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**H.** Granos agregados. Grano compuesto por ooides, pseudopellets y un bioclasto, unidos por un cemento carbonatado en forma de dientes (Cemento A) y en mosaico (Cemento B). Estos componentes son típicos en ambientes de baja a moderada energía (FZ 8: laguna restringida). Muestra BRCZ-02, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

Lámina 25



### **3.6 Rincón de Leijas**

#### **Análisis microfacial**

##### Microfacies del Cerro El Meco (CEM)

En el análisis microfacial de estas brechas se observó que el contenido de componentes es mayor al 80% aproximadamente, siendo más del 10% de estos mayores a 2 mm, presentándose de mayor a menor frecuencia intraclastos, bioclastos, extraclastos, granos cubiertos, pellets, pedernal y ooides, los cuales debido a su extremo empaquetamiento forman una fábrica soportada por granos (Lámina 26 A) y solo en un par de muestras se observó una fábrica tipo soportada por matriz.

La masa básica en promedio es menor al 20% del total en cada una de las muestras analizadas, variando en composición de micrita a esparita. En algunas muestras, la masa básica ha sido remplazada en su totalidad por cristales anhedrales a subhedrales (equigranulares) del mineral dolomita (Lámina 26 B). La dolomitización puede ser clasificada como una dolomía de mosaico inequigranular (Randazzo y Zachos, 1983) o dolomía hipidiotopica inequigranular (Friedman, 1965), resultado de una dolomitización claramente epigenética la cual reemplaza únicamente a la masa básica.

En algunas láminas se observó de manera esporádica pequeños manchones irregulares de óxidos, principalmente en la masa básica y en raras ocasiones dentro de los intraclastos.

Los intraclastos son los componentes que se presentan con mayor frecuencia, en todas las láminas, siendo principalmente clastos de aguas profundas representados generalmente por: 1 – Wackestone de finos biodetritos pelágicos y bentónicos (Lámina 26 C), SMF 1 (cuenca y plataforma de mar abierto); 2 – Wackestone de calcíferas, globigerinas y bioclastos (Lámina 26 D), SMF 3 (cuenca y margen de plataforma profunda, FZ 1-B y FZ 3); 3 – Mudstone de bioclastos / wackestone de filamentos (Lámina 26 E), SMF 1 o 3 (cuenca y margen de plataforma profunda) y 4 – Mudstone / wackestone / packstone de calcíferas, bioclastos y globigerinas (Lámina 26 F), SMF 3 (margen de plataforma de mar abierto / pie de talud, FZ 3).

La abundancia de extraclastos es relativamente baja en el análisis microfacial, de las láminas, únicamente se encontraron un par de extraclastos representados por

packstone a grainstone de pseudopellets y bioclastos: bivalvos, espinas de equinodermos y Orbitolínidos (Lámina 26 G), SMF 10 (ambientes de plataforma de mar profundo o plataforma de mar abierto, FZ 2 o 7).

En contenido mayor que los extraclastos, se encontró una diversidad de bioclastos, entre los que sobresalen macrofósiles como moluscos (Lámina 26 H), rudistas (Lámina 27 A), fragmentos de equinodermos (Lámina 27 B) y briozoarios, además de foraminíferos bentónicos como miliólidos y orbitolínidos (Lámina 27 C) y algunos microfósiles planctónicos como globigerinas (Lámina 27 D).

Otros componentes observados en un porcentaje menor fueron pseudopellets, granos cubiertos, pellets y ooides (Lámina 27 D).

#### Microfacies del Cerro La Santa Cruz (CSC)

En general, las muestras recolectadas de las brechas que afloran en este cerro, presentan un contenido de componentes menor o igual al 80%, encontrando que más del 10% de los componentes son >2 mm, dominando los intraclastos, extraclastos, bioclastos, granos cubiertos, pseudopellets, pellets y esporádicamente algunos nódulos de pedernal (Lámina 27 E).

Aunque el porcentaje de componentes en las muestras es importante, en varias láminas se aprecia que los componentes están soportados dentro de una masa básica; sin embargo, también es común encontrar que la fábrica tienda a ser soportada por granos (Lámina 27 E).

La masa básica en promedio llega a ser mayor o igual al 20% en las láminas analizadas, dependiendo del tipo de fábrica, variando en composición desde micrita, microesparita y esparita (Lámina 27 F).

Gran parte de las muestras analizadas presentan contactos estilolíticos, principalmente entre clasto a clasto y/o extraclastos/intraclastos con la masa básica, y suelen estar rellenos de microesparita y en ocasiones óxidos de fierro (Lámina 27 G). Sin embargo, la compactación de la brecha no parece haber afectado de manera importante a la fábrica original.

Solo algunas muestras presentan evidencias de una ligera dolomitización incipiente que afecta principalmente a la matriz y en algunos casos a los bioclastos, por lo que puede considerarse como una dolomitización muy tardía de bajo grado.

Cabe señalar también que algunas muestras recolectadas presentan una ligera recristalización (Neomorfismo?), afectando únicamente a la masa básica, la cual exhibe cristales de esparita irregulares con límites curvos y de tamaño variable, remanentes de micrita y la presencia de componentes aparentemente "flotando" dentro de la esparita (Lámina 27 H).

Los componentes que se presentan en un mayor porcentaje son intraclastos de aguas profundas los cuales están representados de manera general por: 1 – Wackestone con espículas y radiolarios? (Lámina 28 A), SMF 1 (carbonatos de cuenca o plataforma profunda); 2 – Laminación de mudstone-wackestone pelágico (Lámina 28 B), SMF 3 (cuenca y plataforma profunda de mar abierto); y 3 – Sedimentación alóctona y autóctona de aguas profundas (Lámina 28 C), SMF 1 y 2 (muy probablemente la sedimentación ocurrió en un ambiente de margen de plataforma profunda o pie de talud, FZ 3).

Los extraclastos son los componentes que se presentan en una abundancia ligeramente menor a los intraclastos. Estos componentes de origen alóctono están representados en todas las láminas por un gran contenido de clastos compuestos de 1) Grainstone de bioclastos cubiertos con cemento esparítico (Lámina 28 D), SMF 11, el sedimento fue originado en una área de alta energía de arenas de post-arrecifales (FZ 6) depositadas en una plataforma exterior (FZ 4).

Los componentes esqueléticos están presentes en todas las láminas analizadas, siendo los más comunes fragmentos de bivalvos, placas y espinas de equinodermos (Lámina 28 E), braquiópodos, briozoarios (Lámina 28 F), gasterópodos, rudistas (Lámina 28 G), foraminíferos bentónicos biseriales, miliólidos (Lámina 28 H), orbitolínidos y microfósiles planctónicos como globigerinas (Lámina 28 H) y calcíferas. Otros componentes observados en las láminas delgadas, con una abundancia relativamente baja son: granos cubiertos (cortoides), pseudopellets, pellets, ooides y nódulos de pedernal.

### **Interpretación de los depósitos**

En la localidad de Rincón de Leijas se midieron varios afloramientos de brechas calcáreas la cuales presentan características litológicas muy similares; sin embargo, en base a claras diferencias en la granulometría y morfología de sus componentes, se consideraron como dos depósitos de brechas diferentes (Capítulo 3.6). De manera general, las brechas que afloran en esta localidad están constituidas mayormente de rudstone (Cerro El Meco) y rudstone a floatstone (Cerro La Santa Cruz) con componentes como intraclastos, bioclastos, extraclastos, granos cubiertos, pellets, ooides y pedernal.

Ambas brechas están afectadas en diferentes grados por la dolomitización, siendo esta última de tipo epigenética. Además, exclusivamente las brechas del Cerro La Santa Cruz presentan una ligera recristalización de la masa básica (Neomorfismo), debido a la cercanía de estos depósitos con rocas volcánicas que afloran hacia la parte alta de este cerro.

El contenido de componentes de origen autóctono es alto en ambas brechas, y esta representado por clastos que varían de mudstone, wackestone a packstone, con laminación, compuestos de finos biodetritos, espículas, filamentos, microfósiles pelágicos (p.e. globigerinas, radiolarios, calcísferas) y ocasionalmente pequeños foraminíferos bentónicos; representando Microfacies Estándar (SMF) del tipo 1 y 3, por lo que se asume que estos componentes se depositaron en un medio ambiente de aguas profundas, con una sedimentación lenta en zonas de cuenca y plataforma profunda, en inclusive hasta pie de talud (Apéndice 9).

Aunque el contenido de extraclastos en la brecha del Cerro La Santa Cruz es mucho mayor que en la del Cerro El Meco, ambas brechas presentan extraclastos compuestos de packstone y grainstone de bioclastos cubiertos, granos micritizados, pellets, y foraminíferos bentónicos (p.e. miliólidos y orbitolínidos; los cuales representan Microfacies Estándar (SMF) del tipo 10 y 11, por lo que se asume un origen de carácter alóctono (aguas poco profundas), probablemente zonas post-arrecifales, barrera y laguna con circulación abierta (Apéndice 9).

Estas brechas presentan una gran diversidad de componentes de origen esquelético, tanto bioclastos de aguas someras (p.e. rudistas y foraminíferos bentónicos), como de aguas más profundas (p.e. microfósiles planctónicos).

El arreglo textural y la coexistencia de componentes de origen autóctono y alóctono en ambas brechas (Cerro El Meco y La Santa Cruz), indican una Microfacies Estándar (SMF) de tipo 4 a 5 (Apéndice 9), indicando que el depósito de estas brechas tuvo lugar en una zona de facies de pie de talud (Apéndice 9); sin embargo, la presencia relativamente baja de componentes alóctonos (bioclastos de zonas del arrecife y material de zonas post-arrecifales), evidencian un margen de plataforma con borde, muy probablemente formado por pequeños montículos aislados de rudistas (*patch reefs*) que fueron transportados y depositados en el talud por procesos gravitacionales, dando origen a la formación de flujos de detritos (*debris flows*) y corrientes turbidíticas que se depositaron hasta zonas del pie de talud a cuenca (Apéndice 9), como lo demuestran la presencia de componentes depositados *in situ* que fueron ligeramente removidos.

## Lámina 26. Rincón de Leijas

**A.** Rudstone de intraclastos, extraclastos y bioclastos / Intraextrabiomirosparudita. Brecha calcárea compuesta por un gran contenido de componentes (>80%), principalmente intraclastos (Ic), extraclastos, bioclastos (Bc), granos cubiertos, los cuales debido a su extremo empaquetamiento forman una fábrica soportada por granos. La masa básica es predominantemente micrita y en menor proporción esparita. Muestra BRL-10B, Objetivo 0.8X, Luz natural.

**B.** Fotomicrografía a detalle de la dolomitización la cual ha remplazado totalmente a la matriz original. Los criterios descriptivos de la dolomitización son: cristales inequigranulares, no rómbicos; anhedrales a subhedrales, bien empaquetados, fábrica hipidiotópica, límites rectos y curvos de los cristales, de tamaño entre <0.1 a 0.3 mm (fino). Muestra BRL-10B, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**C.** Wackestone de bioclastos y pellets / Biopelmicrita. Clasto compuesto por más del 10% de componentes (todos son <2 mm), principalmente bioclastos entre los que se presentan pequeños miliólidos (flecha), calcíferas con y sin pared (radiolarios?) y filamentos, además de pellets, los cuales se encuentran flotando en una matriz micritica/pelmicritica. Muestra BRL-10A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**D.** Wackestone de bioclastos / Biomicrita. Clasto con más del 10% de componentes, principalmente calcíferas sin pared, globigerinas y bioclastos (pequeños bivalvos?). Todos los componentes flotan en una matriz micritica, formando una fábrica soportada por lodo. Muestra BRL-10A, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

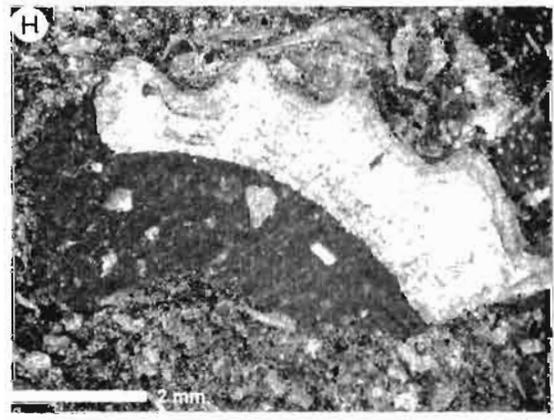
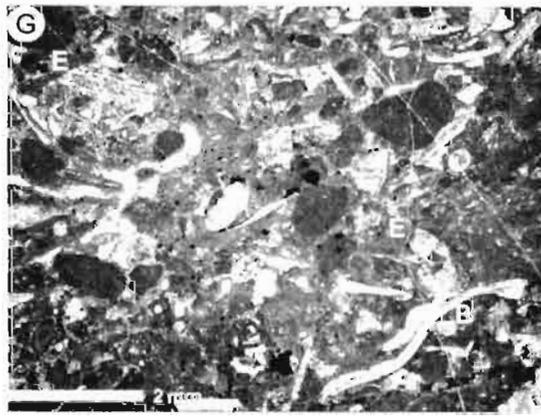
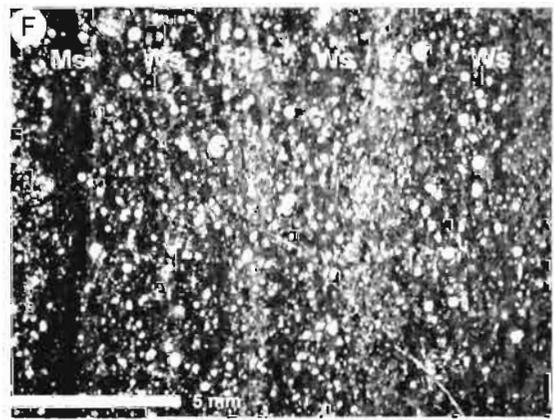
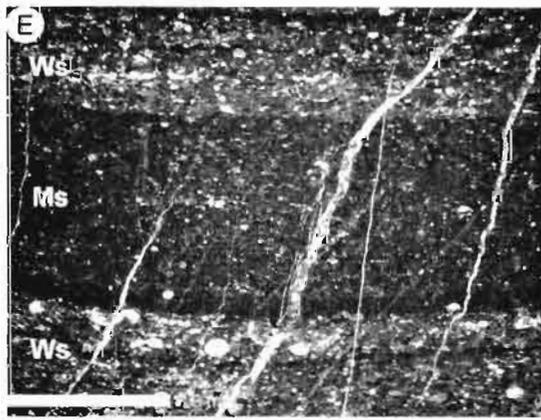
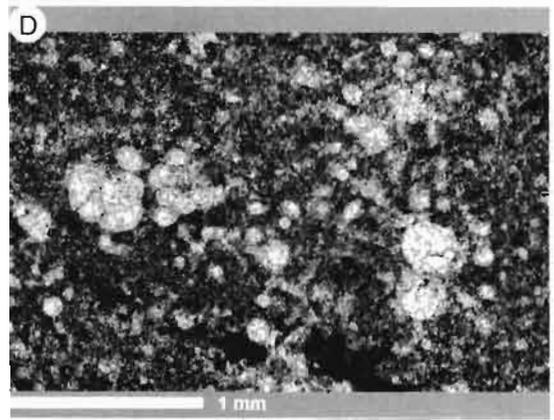
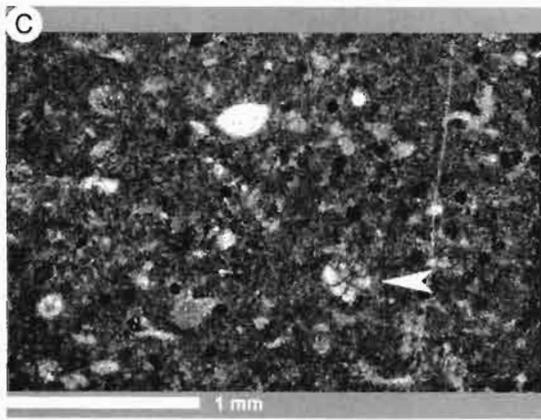
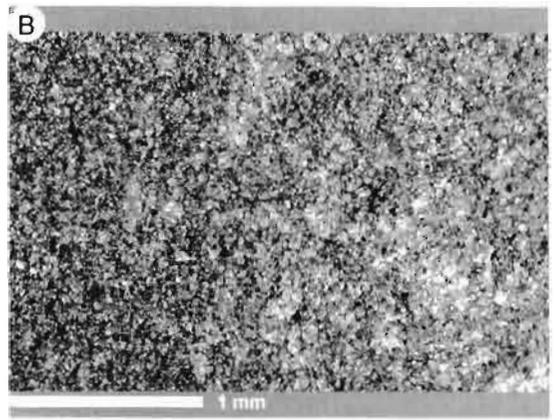
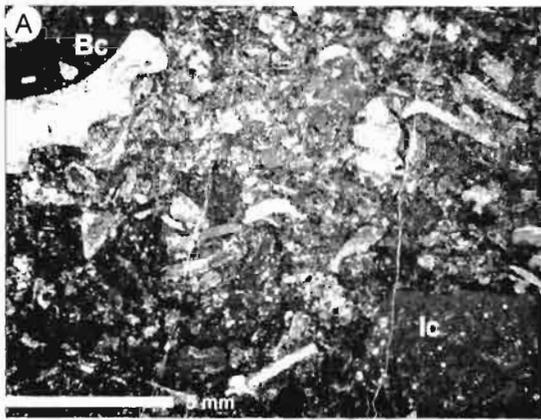
**E.** Clasto compuesto de una alternancia de láminas milimétricas de 1) Mudstone con bioclastos (Ms) y 2) Wackestone con filamentos (Ws). Muestra BRL-10B, Objetivo 1.25X, Luz natural.

**F.** Clasto compuesto por una alternancia rítmica de láminas milimétricas de 1) Mudstone (Ms) de calcíferas sin pared (>0.2 mm) y filamentos; 2) Wackestone (Ws) de calcíferas sin pared (0.2-0.4 mm), pequeños bioclastos (en su mayoría filamentos) y foraminíferos planctónicos (Globigerinas); y 3) Packstone (Ps) de calcíferas sin pared, bioclastos y foraminíferos planctónicos (Globigerinas). Muestra BRL-10E, Objetivo 0.8X, Luz natural.

**G.** Packstone/grainstone de pseudopellets y bioclastos. Clasto compuesto de granos amorfos micritizados mayores de 0.5 mm de diámetro (granos cubiertos?), y bioclastos (B-bivalvos, E-espinas de equinodermos y Orbitolinidos), formando una fábrica soportada por granos. La masa básica es microesparita. Muestra BRL-10C, Objetivo 1.6X, Luz natural.

**H.** Fragmento de molusco el cual presenta una forma cónica y con una pared que muestra una estructura lamelar/cruzada, con laminas concéntricas. Probablemente la sección de la pared puede ser parte de un *scaphopodo*, *Dentalium sexangulare*. Este fragmento presenta una estructura geopetal, sin embargo, el material dentro de este, no presenta señales de dolomitización en comparación con la masa básica de la muestra, por lo que también puede ser considerado como un extraclasto. Muestra BRL-10B, Objetivo 1.6X, Luz natural.

Lámina 26



## Lámina 27. Rincón de Leijas

**A.** Fragmento de Rudista. Los rudistas tienen formas variables y complicadas pero son mayormente reconocidos por la estructura tipo "boxwork" de sus paredes, diferentes a los corales, briozoarios, etc. por el tamaño, forma y detalle de la estructura vesicular. Probablemente se trate de un fragmento de Chamacean pelecypod *Hippurites* sp. (relativamente cercano a otros rudistas) (Mollusks in Scholle, P. A., 2002). Muestra BRL-10B, Objetivo 2.5X, Luz natural.

**B.** Bioclasto de aproximadamente 0.8 mm de diámetro ligeramente cubierto por micrita, el cual muestra la apariencia polvosa y los planos de clivaje paralelos común en los equinodermos. Muestra BRL-10B, Objetivo 5X, Nícoles paralelos.

**C.** Caparazón de un Orbitolinido finamente aglutinado el cual presenta evidencias de haber sufrido transporte (ligero redondeamiento), además de que la orientación no permite identificarlo a detalle. Un caso común es el transporte de estos talud abajo de ambientes de plataforma subtidales a desarrollos de cuenca. Muestra BRL-10C, Objetivo 1.6X, Luz natural.

**D.** Fotografía a detalle de muestras con una masa básica mayormente esparítica, en la cual se encuentran flotando otros componentes como bioclastos: foraminíferos planctónicos (G-Globigerinas) y bentónicos (FB-Biserial), fragmentos de briozoarios? (Br); granos micritizados (GC-granos cubiertos), pellets (P) y ooides de origen alóctono (O). Muestra BRL-10A, Objetivo 2.5X, Luz natural.

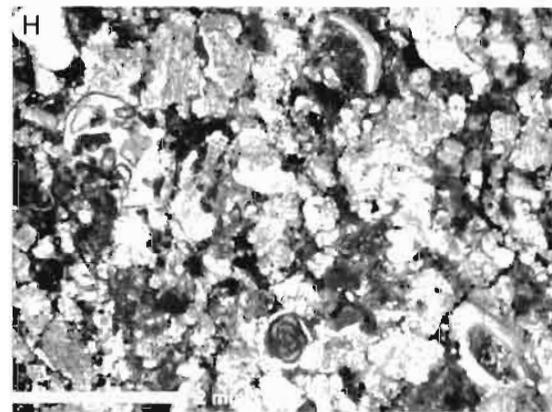
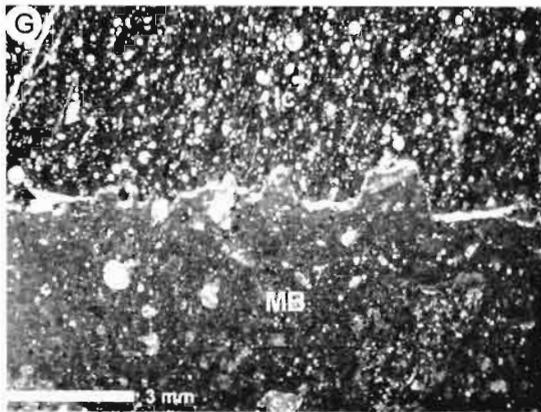
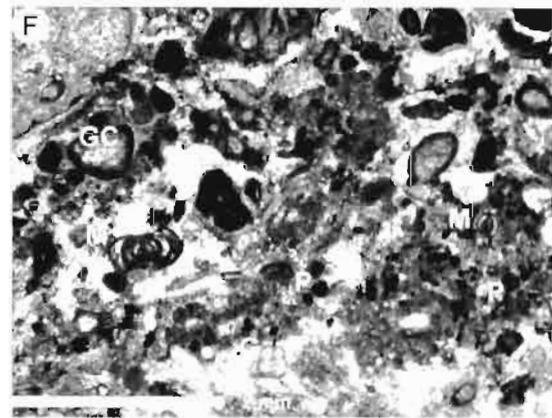
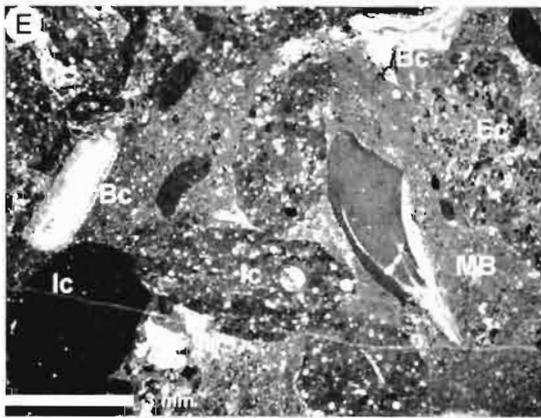
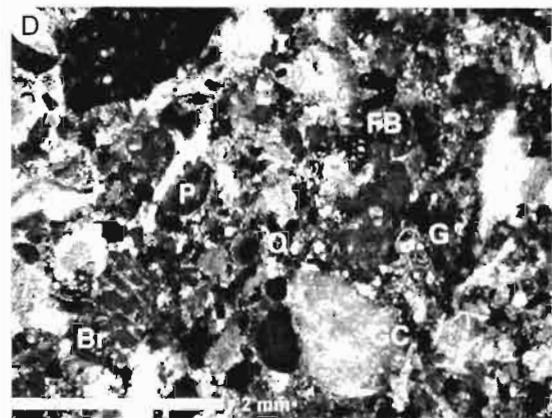
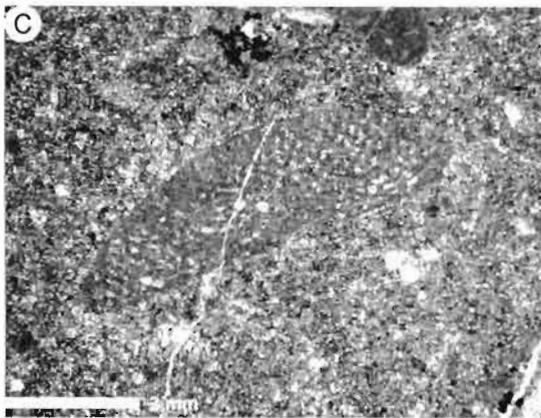
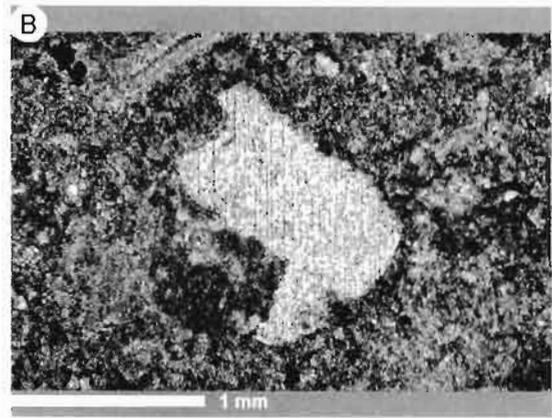
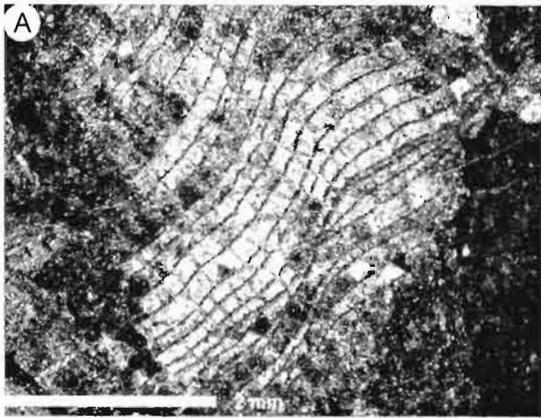
**E.** Floatstone a rudstone de extraclastos (Ec), intraclastos (Ic) y bioclastos (Bc) / Extratrabimicroesparudita. Brecha calcárea polimictica con un alto contenido de componentes (80%), los cuales llegan a formar desde una fábrica soportada por lodo a soportada por granos. La masa básica (MB) es predominantemente micrita y en ocasiones presentan algo de microesparita-esparita. Muestra BRL-101, Objetivo 1.0X, Luz natural.

**F.** Fotografía a detalle de la masa básica la cual muestra una textura de packstone compuesto de granos cubiertos-micritizados (GC-granos cubiertos), pellets (P), y foraminíferos bentónicos (M-miliolidos) y planctónicos (G-Globigerinas), soportados en una masa básica que varía en composición desde micrita-pelmicrita a esparita. Muestra BRL-102E, Objetivo 2.5X, Luz natural.

**G.** Fotografía a detalle de los contactos estilolíticos (flecha) que ocurren mayormente entre los clastos (Ic-intraclasto) y la masa básica (MB). Las estilolitas son de tipo columnar de baja amplitud y ligeramente espaciadas. Muestra BRL-100C, Objetivo 1.0X, Luz natural.

**H.** Cristales anhedrales, caracterizados por la ausencia de caras limitando a los granos minerales, de tamaño de 0.2 a 0.8 mm, formando una fábrica inequigranular y xenotopica. Los fragmentos o "fantasmas" de equinodermos suelen ser confundidos con estos cristales, sin embargo, estos bioclastos generalmente presentan una cubierta de micrita (bioturbación). Muestra BRL-102A, Objetivo 2.0X, Luz natural.

Lámina 27



## Lámina 28. Rincón de Leijas

**A.** Wackestone de bioclastos / Biomicrita. Clasto compuesto por menos del 90% de matriz micritica de color gris y con un ligero contenido mayor al 10% de componentes. Todos los componentes son menores a 2 mm y se trata de pequeños bioclastos entre los que se observan espículas monoaxónicas (Es) y pequeñas calcíferas sin pared (radiolarios?). Muestra BRL-101, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

**B.** Mudstone-wackestone pelágico / Biomicrita. Clasto compuesto de una alternancia de láminas milimétricas de mudstone (Ms) de calcíferas sin pared (radiolarios?) y wackestone (Ws) con un mayor contenido de componentes sin determinar. Muestra BRL-102E, Objetivo 1.25X, Luz natural.

**C.** Clasto con laminación milimétrica compuesto por una alternancia rítmica de: 1) Packstone (Ps) de pellets, granos cubiertos y foraminíferos bentónicos (Textularias), 2) Grainstone a packstone (Gs-Ps) de granos cubiertos, pellets y foraminíferos bentónicos biseriales y uniseriales y 3) Wackestone (Ws) de calcíferas sin pared (radiolarios?) y pequeños bioclastos (bivalvos?). Muestra BRL-102D, Objetivo 1.0X, Luz natural.

**D.** Grainstone de bioclastos cubiertos. Granos esqueléticos cubiertos de micrita o incrustaciones biogénicas y corresponden a pequeños cortoides del tamaño de 0.4 a 2.5 mm (flechas). Los granos bioclasticos son conchas de moluscos y foraminíferos bentónicos (FB), además de granos amorfos de 0.4-1.4 mm completamente micritizados (Pp-pseudopellets) y pellets (P), los cuales muestran un empaquetamiento marcado formando una fábrica soportada por granos. La masa básica es esparita. Muestra BRL-102E, Objetivo 1.25X, Luz natural.

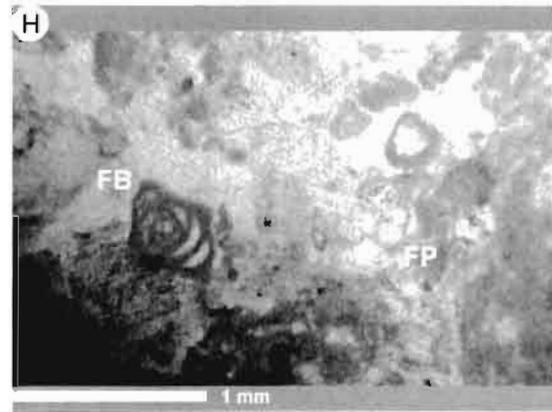
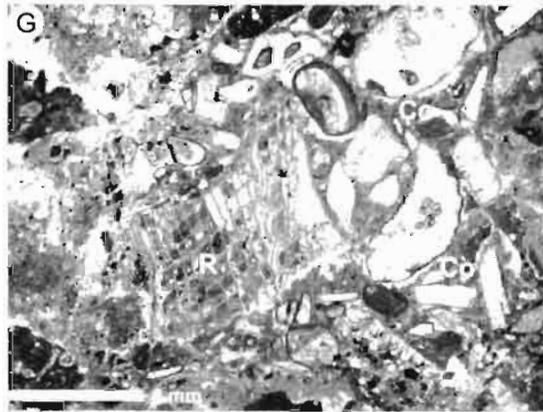
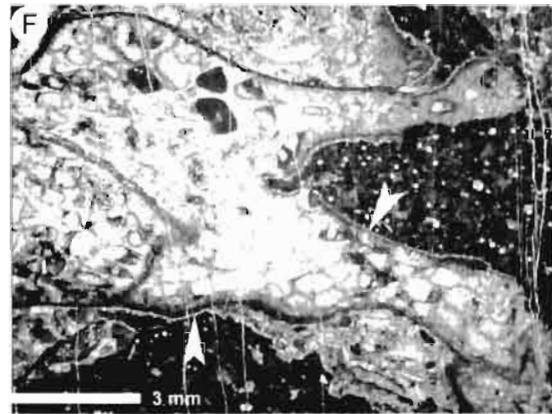
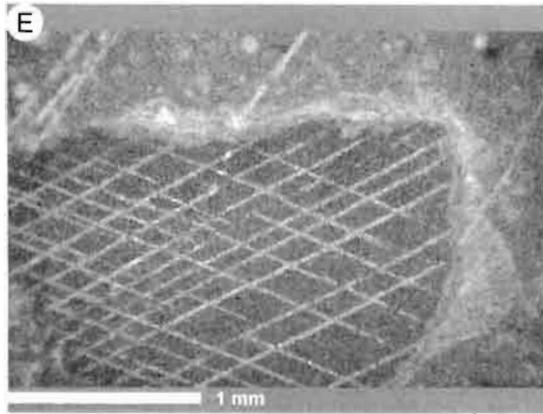
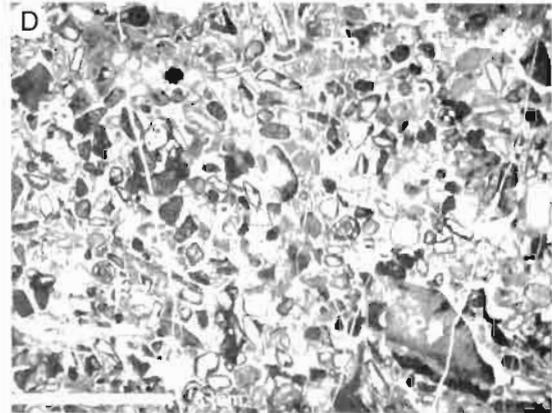
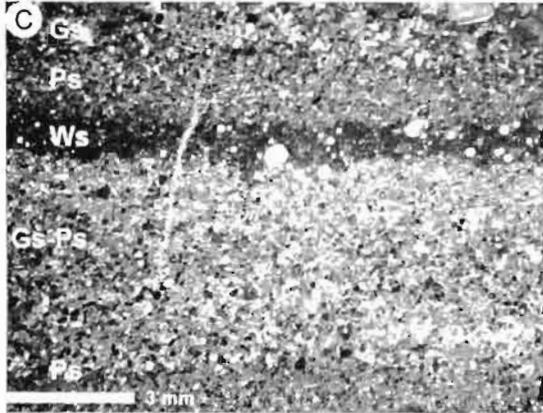
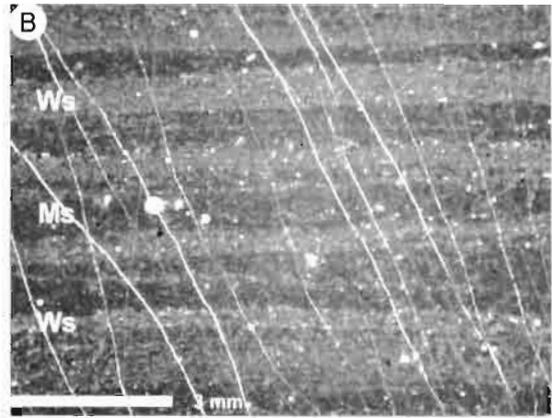
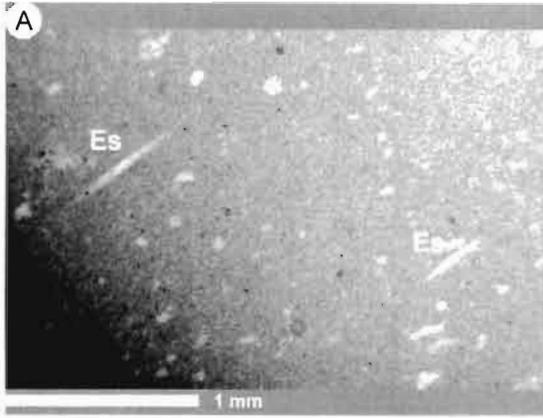
**E.** Equinodermos. Cristales de calcita monocristalinos de forma y tamaño variable, textura fina, apariencia polvosa, mostrando planos de clivaje paralelo bajo luz polarizada. Es común que estos fragmentos presenten una cubierta de micrita (*microborings*). Muestra BRL-100A, Objetivo 4X, Nícoles cruzados.

**F.** Briozoario. Fragmento con un patrón de abanico? Resultado de la diferencia en el arreglo, morfología y tamaño de los tubos o cavidades en su estructura interna. El bioclasto presenta un cemento en forma de dientes (Cemento A) alrededor del mismo (flechas). Muestra BRL-100A, Objetivo 1.0X, Luz natural.

**G.** Rudista (R): Fragmento de rudista claramente reconocido por su estructura "boxwork" (vesículas) de la concha. Cortoides (Co): Granos esqueléticos sin estructura interna preservada, subredondeados a redondeados y de tamaño variable, cubiertos por una delgada capa de micrita resultado de la actividad biogénica. Muestra BRL-102D, Objetivo 1.6X, Luz natural.

**H.** Fotografía a detalle de la coexistencia de foraminíferos planctónicos (FP) y bentónicos (FB), comúnmente distribuidos de manera irregular en la masa básica de las muestras. Muestra BRL-102E, Objetivo 4X, Nícoles paralelos.

Lámina 28



## 4. MODELOS DEPOSICIONALES

### 4.1 Generalidades

Las brechas carbonatadas y conglomerados son rocas sedimentarias caracterizadas por fragmentos de caliza o dolomía embebidos en una masa básica la cual consiste de una matriz de grano fino y/o cementos. Las brechas se caracterizan por presentar abundantes clastos angulosos (normalmente >50%) y los conglomerados por abundantes clastos bien redondeados del tamaño de guijarros o gravas (Flügel, 2004). Una variedad de términos es aplicada a las rocas compuestas de clastos carbonatados, uno de ellos se enfoca en las dimensiones de los clastos: *Microbrecha*. Contiene clastos carbonatados del tamaño de mm-cm, a menudo son descritas dentro de las clasificaciones comunes de calizas usando los términos intraclasto o litoclasto, e indicando la escala de tamaño por el uso de calcirudita, rudstone o floatstone. El límite entre las calizas litoclásticas y brechas es artificial, algunos autores sugieren un límite de aproximadamente 2 mm. Las microbrechas son constituyentes comunes de depósitos de talud o representan depósitos distales de flujos de escombros (*debris flow*).

*Megabrecha*. Compuesta por una matriz gruesa conteniendo bloques angulosos de 1 m hasta 100 m en tamaño. Las brechas son el resultado de procesos tectónicos y sedimentarios y se desarrollan talud abajo por grandes corrimientos relacionados con deslizamientos gravitacionales (*slidings*), p.e. depósitos de mega-flujos de escombros (Cook *et al.*, 1972). Se forman en un amplio rango de ángulos de talud y contienen brechas de grano grueso así como de grano fino.

### 4.2 Tipos de Brechas Carbonatadas: Origen y Clasificación

Las brechas carbonatadas tienen diferentes orígenes, su clasificación es esencialmente genética y difiere conceptualmente de las calizas. Los sistemas de clasificación están basados también en los criterios descriptivos o deducidos de los procesos de brechamiento (Spence y Tucker, 1997). Los principales tipos de brechas carbonatadas están basados en las propuestas de Norton (1917), Blount y Moore (1969), Keith y Friedman (1977), Richter y Füchtbauer (1981), y la principal

categoría genética incluye brechas deposicionales, no-deposicionales, tectónicas y diagenéticas. Las brechas calcáreas del área de estudio, presentan características de tipo deposicional. Por lo que a continuación se describen de manera general los tipos de brechas deposicionales:

**Brechas deposicionales:** resultan de la depositación de material carbonatado erosionado y se dividen en:

- Brecha de flujo de masa (*Mass-flow breccia*): brecha originada del transporte talud abajo de sedimentos marinos someros y de talud moviéndose bajo la fuerza de la gravedad. Incluye brechas formadas por deslizamientos (*slumps y slides*), flujo de escombros (*debris flows*), flujos de granos (*grain flows*) y turbiditas (*turbidity flows*).
- Brecha de caída de rocas (*Submarine rockfall breccia*): brecha de flujo de masa formada por la acumulación de fragmentos de roca gruesos y angulosos derivados por la caída de un acantilado, escarpe o talud abrupto.
- Brecha marina somera y peritidal (*Peritidal and shallow-marine breccia*): brecha formada por depositación sinsedimentaria de carbonatos erosionados peritidales, subtidales someros así como también subaéreos, a menudo relacionados a tormentas.
- Brecha pre-arrecifal (*forereef breccia*): brecha depositada hacia el talud de arrecifes de alta energía. Consiste de material del arrecife erosionado y restos organismos que viven en el arrecife o en el pre-talud.

#### **4.3 Criterios de diagnostico de los tipos de depósitos de una zona de transición Plataforma-Cuenca**

**Depósitos submarinos de caída de rocas:** son depósitos caracterizados por caída libre, y a menudo grandes fragmentos de roca son transportados a través de ángulos moderados y abruptos sobre distancias cortas. El material es erosionado de acantilados, escarpes o rocas de la costa (Figura 28 y 30 A). Los criterios importantes son:

- Unidades deposicionales caracterizadas por límites marcados.

- Los clastos son angulosos a subangulosos, uniformes o polimicticos y normalmente con un empaquetamiento muy cerrado.
- El sorteamiento es de pobre a muy pobre. No presenta gradación.
- El tamaño de los clastos varía entre unos pocos milímetros a decenas de metros.
- Los clastos grandes se encuentran junto con clastos muy pequeños.
- La fábrica normalmente es soportada en clastos (p.e. en la base de los bordes de la plataforma sobre-escarpados).
- La matriz consiste de escombros (*debris*) de roca pobremente sorteados, carbonato de grano fino, o material arcilloso.

**Microfacies:** Los clastos pueden presentar diferentes litologías, diferentes tipos de microfacies y rocas de diferentes edades estratigráficas dependiendo de la composición de la secuencia de rocas erosionadas. Los clastos se encuentran junto con fósiles aislados (p.e. corales o rudistas transportados de arrecifes), o están mezclados con material exótico traído del litoral. Antiguos depósitos de caída de rocas carbonatados son conocidos de ambientes transicionales y cercanos a la costa, costas rocosas, acantilados de montes marinos, y taludes abruptos pre-arrecifales.

**Deslizamientos y slumps:** movimiento de sedimentos semiconsolidados a suaves en taludes (Figura 28). El movimiento toma lugar si el esfuerzo de cizalla excede la resistencia de cizalla del sedimento en alguna profundidad debajo de la superficie sedimentaria. El esfuerzo de cizalla incrementa con el ángulo del talud y la profundidad bajo el piso marino. En los deslizamientos, el sedimento en masa no cambia su estado mecánico, por ejemplo, se mueven como un tipo de tapón rígido sin disturbios internos significantes (Figura 30 B). Los *slumps* muestran disturbios internos considerables (p.e. plegamiento sinsedimentario), y frecuentemente varias fases de deslizamiento. A menudo se desarrollan en flujos de escombros o flujos de lodo (Figura 30 C) (Einsele, 2000).

**Flujos de escombros:** están compuestos de clastos que son transportados y depositados por una pesada mezcla de lodo-agua de sedimentos que han sido diversamente llamados *debrites*, *debris sheets* o *mass breccia flows* (Figura 28 y 30 E – F) (Hiscott y James, 1985). En los flujos de escombros los granos más grandes

están soportados por una matriz, que es una mezcla de fluido intersticial y sedimento fino, el cual tiene una fuerza de rendimiento finito (Figura 29) (Middleton y Hampton, 1976). Muchos supuestos *debrites* tienen una matriz granular que no es cohesiva. En esos casos, el transporte por turbulencia e interacciones de granos es más probable. Los flujos de escombros son capaces de viajar sobre taludes muy suaves y pueden representar una pre-fase de sedimentación turbidítica, varían en espesor de unos pocos decímetros a varias decenas de metros. La mayoría de los flujos de escombros forman cuerpos lenticulares y laminados (en forma de hojas) con contactos concordantes y algunas veces también contactos erosionales con el sedimento de grano fino subyacente. Los contactos superiores son agudos o la capa del *debrite* pasa hacia arriba dentro de las turbiditas.

Muchos flujos de escombros son brechas de grano grueso o conglomerados caracterizados por sorteamiento pobre, ausencia de estratificación y a menudo fábrica de clastos aleatoria o caótica. El empaquetamiento de los clastos es variable y se muestra soportada en matriz así como soportada en clastos. El área fuente de los clastos sólo puede ser inferida por comparación de las microfacies de los clastos con microfacies de varias partes de la plataforma y talud carbonatados. Los criterios comunes de los flujos de escombros en el estudio de microfacies son:

- Las unidades sedimentarias son generalmente masivas o con estratificación gruesa. Superficie de la base irregular.
- Los clastos grandes pueden sobresalir de la capa.
- Fábrica deposicional no preferencial excepto por una burda gradación en la base.
- Los clastos de calizas son pobremente sorteados y de tamaño variable, normalmente del tamaño de la arena fina.
- Se presentan clastos angulosos o redondeados, o mezcla de ambos tipos.
- Los clastos son soportados por sedimento de grano fino constituido de micrita, calcilutita de material arcilloso.
- Grandes bloques o cantos pueden estar embebidos dentro de los depósitos.

Un tipo específico de depósito de flujo de escombros son los conglomerados de calizas desorganizados, constituidos de clastos de aguas someras o profundas formando capas extendidas y canales. Los criterios comunes son:

- Clastos del tamaño de la arena a bloques; muy pobremente sorteados.
- Clastos angulosos, subredondeados y redondeados.
- Distribuidos aleatoriamente, a menudo clastos empaquetados densamente.
- Clastos monomícticos o polimícticos, posiblemente derivados de aguas someras, talud o sedimentos de aguas profundas.
- Matriz de lodo-limo o lodo arcilloso.
- Estructuras internas dentro de las capas son raras o no se presentan.
- Ausencia de gradación normal, gradación inversa en la zona basal de la unidad.

**Flujos de granos:** son flujos gravitacionales en el cual el material de diferentes tamaños de grano es soportado dentro del flujo, principalmente por la intensidad de una matriz fluida constituida de agua y minerales de la arcilla (Figura 28 y 30 C). En los flujos de granos, el sedimento es soportado por interacciones directas grano a grano (Figura 29) (Middleton y Hampton, 1976). A menudo los depósitos de flujo de granos están asociados con turbiditas. Los criterios comunes son:

- Capas gruesas masivas.
  - Cima y base planas. Algunas veces *flute marks*.
  - Estructuras de intrusión y erosión en la base.
  - Soportada en clastos de parcial a completamente.
  - Clastos flotando en matriz de arena o lodo.
  - Sorteamiento pobre.
  - La orientación de granos es paralela al flujo.
  - Laminación cruzada.
  - Ausencia de gradación normal. En ocasiones gradación inversa cerca de la base.
- Los sedimentos de flujo de granos, son depositados predominantemente en taludes profundos o en la base de los taludes, en contraste con las turbiditas que son depositadas en posiciones distales o proximales dependiendo de la fuente.

**Flujos de sedimentos fluidizado:** flujos gravitacionales en los cuales el sedimento es soportado por el flujo ascendente de fluido que se escapa de entre los granos, colocando los granos hacia fuera por la gravedad (Figura 29) (Middleton y Hampton, 1976).

**Turbiditas:** flujos en los cuales el sedimento es soportado principalmente por la componente ascendente de la turbulencia del fluido (Figura 29) (Middleton y Hampton, 1976).

#### **4.4 Características generales de los depósitos del área de estudio**

Las brechas que afloran en el área de estudio, presentan de manera general las siguientes características litológicas, morfológicas, texturales y granulométricas:

- Los contactos inferiores son de tipo plano y ondulados con evidencias de erosión, mientras que hacia la cima los contactos son de tipo transicional, y comúnmente con turbiditas.
- Afloran en forma de lentes discontinuos con espesores que oscilan desde 0.5 m hasta 14 m.
- Las depósitos son generalmente masivos o con estratificación gruesa; sin embargo, en algunos afloramientos se observó y se comprobó con el análisis granulométrico la existencia de una gradación normal hacia la cima, y en algunos casos gradación inversa.
- La diferencia en el color de los clastos y la masa básica, refleja el origen extra-cuenca o intracuenca de los componentes con respecto de la masa básica.
- Son brechas de composición poligenética, dando paso a componentes de aguas profundas y aguas someras (intraclastos, extraclastos y bioclastos).
- Los clastos generalmente están soportados por sedimento de grano fino constituido de micrita, esparita y muy raramente arcillas; sin embargo, algunas brechas presentan una fabrica soportada en granos.
- El tamaño de los clastos varía desde la arena a bloques; predominando componentes del tamaño de  $-2.55$  hasta  $-7.79 \phi$  (guijarros finos a cantos y/o guijas grandes respectivamente).
- Ocurrencia de bloques mayores a 1 m de diámetro, con organismos arrecifales (p.e. Brecha de El Coro).
- Presentan un grado de selección pobre a muy pobre ( $1.24$  a  $2.78 \phi$ ), y muy raramente un grado de selección moderado ( $\sigma=1.0 \phi$ , p.e. Armadillo01).

- Clastos de forma tabular, angulosos a subredondeados con baja esfericidad o redondeados con alta esfericidad.
- Generalmente los componentes muestran un arreglo caótico; sin embargo, algunos afloramientos muestran una ligera imbricación y orientación de los clastos en dirección al flujo (W-NW).

Las brechas calcáreas del área de estudio indican que fueron depositadas a partir de procesos gravitacionales en una zona de transición plataforma-cuenca. Las características ya mencionadas de las brechas estudiadas coinciden con algunos o varios criterios descriptivos (Cap. 4.3) que presentan las brechas deposicionales, en particular con los procesos de caída de rocas (*submarine rockfall*) y flujos de masa (*mass-flow*), reconociendo principalmente en el área de estudio la asociación de brechas con varios tipos de depósitos que incluyen: 1) brechas calcáreas formadas por grandes bloques derivados de la caída o desprendimiento del borde arrecifal (*rock-fall* o *forereef breccia*); 2) brechas calcáreas depositadas por flujos de escombros (*debris-flows*); y 3) brechas calcáreas depositadas por flujos de granos (*grain-flows*). Dominando claramente los depósitos de flujos de escombros en el área de estudio. Además, es común observar una clara relación de los depósitos estudiados con turbiditas, encontrando hacia la cima de los depósitos, horizontes de secuencias turbidíticas, lo que indica la relación de generación de estos depósitos a partir de flujos de escombros. Esta relación ya fue antes documentada por López Doncel y Tapia Uresti (2001) y López Doncel (2003).

Tipos de transporte en masa	Sección transversal	Comportamiento mecánico interno	Mecanismo de transporte y soporte dominante del sedimento
Caida de rocas		Elástico	Caida libre y rodamiento, bloques solos.
Deslizamiento traslacional ( <i>glide</i> )		Elástico	Falla de cizalla a lo largo de discretos planos de cizalla subparalelos a las capas subyacentes.
Deslizamiento rotacional ( <i>slump</i> )		Elástico	Falla de cizalla a lo largo de una discreta cizalla cóncava hacia arriba, planos de cizalla acompañados por rotación de deslizamiento.
Flujo de escombros		Plástico	Cizalla distribuida a través de la masa del sedimento. Clastos soportados sobre la base de la capa por esfuerzo cohesivo de matriz de lodo y flotabilidad de los clastos.
Flujo de granos		Plástico	Sedimento cohesivo soportado por presión dispersiva.
Flujo fluidizado		Fluido	Sedimento cohesivo soportados por movimiento ascendente del fluido que se escapa por los poros.
Turbidita		Fluido	Clastos soportados por turbulencia fluida.

**Figura 28.** Representación esquemática de los principales procesos deposicionales y de transporte en una zona de talud y cuenca (Modificado de Cook y Mullins, 1983).

Clasificación de Mecanismos de Flujos Subacuáticos

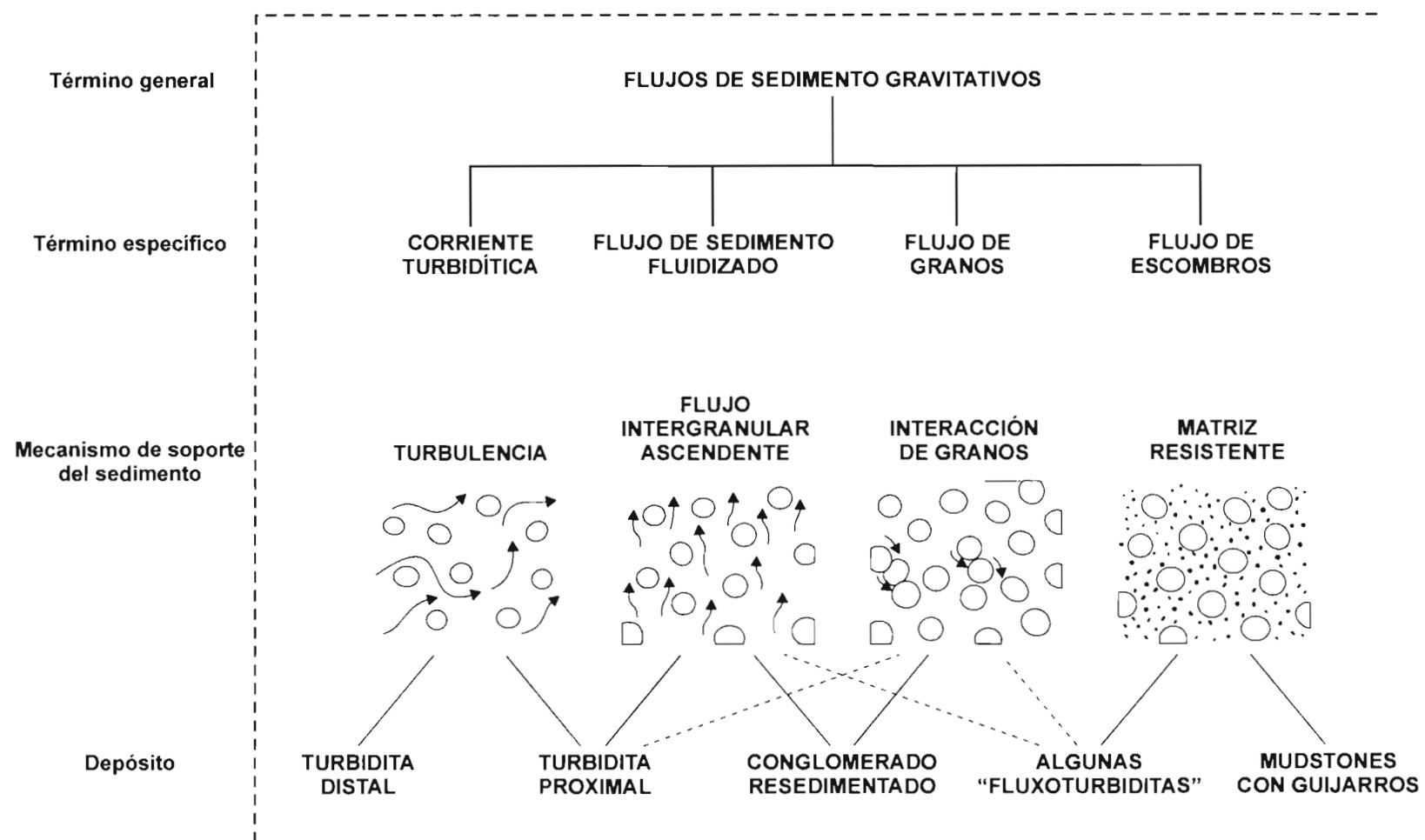
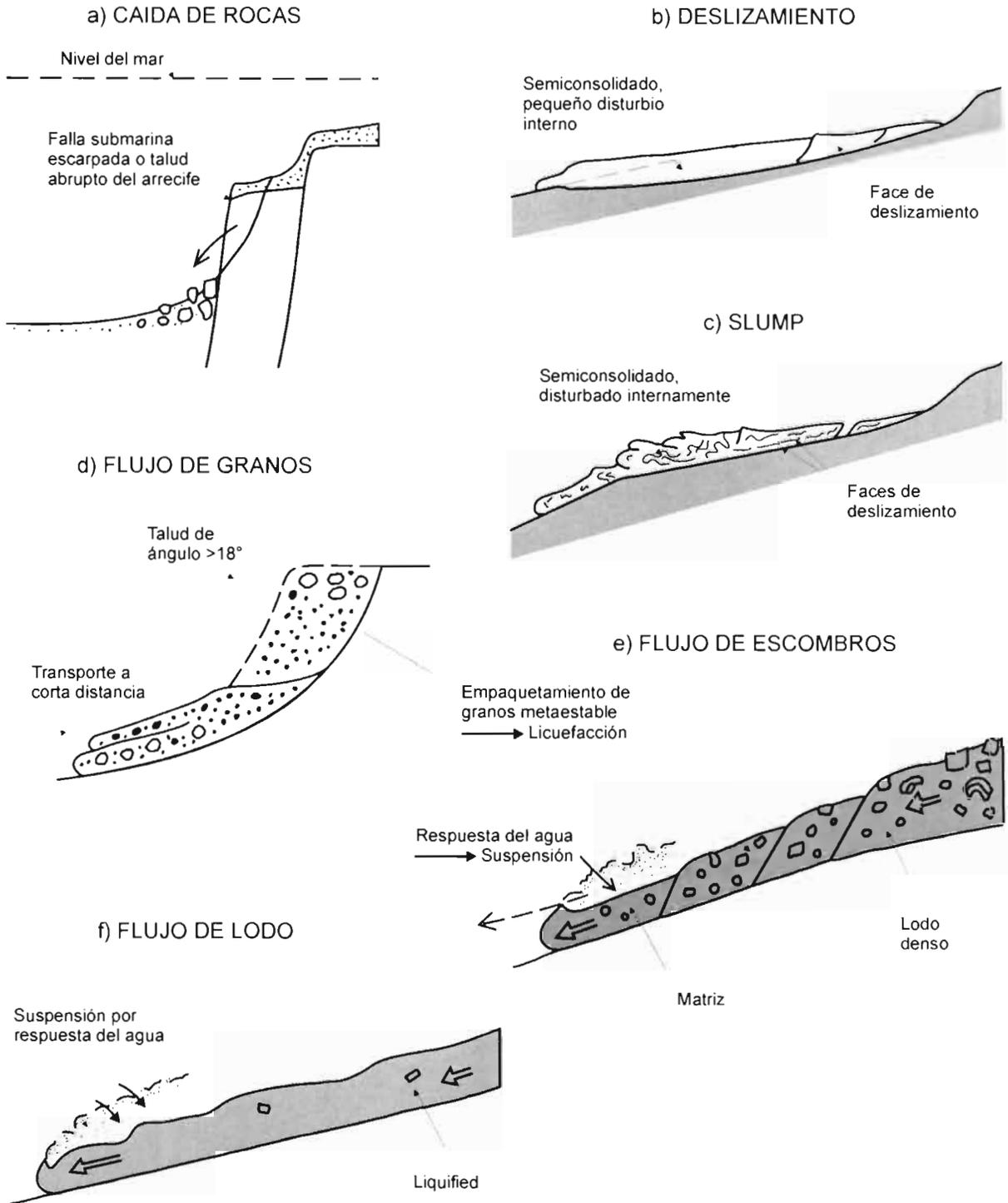


Figura 29. Clasificación de flujos gravitacionales de sedimentos subacuáticos (Tomado de Middleton y Hampton (1976), in Cook y Mullins (1983)).



**Figura 30.** Resumen de los movimientos submarinos en masa y flujos en masa gravitacionales. Los de caída de rocas (a), deslizamientos (b) y *slumps* (c) ocurren si el esfuerzo de cizalla excede la resistencia de cizalla de la roca o sedimento en algunas profundidades. Los flujos de escombros (e), de granos (d) y de lodo (f) normalmente se originan de *slumps* y deslizamientos por licuefacción del empaquetamiento de grano metaestable primario. (Einsele, 2000)

## 5. RECONSTRUCCIÓN PALEOGEOGRÁFICA

### 5.1 Tipos de Taludes

La forma, orientación, tamaño y facies de un talud carbonatado están ligados a una variedad de factores intrínsecos y extrínsecos. Los factores intrínsecos son la productividad biológica, erosión y transporte del sedimento, cementación y bioconstrucción, crecimiento de montes y arrecifes; y disolución y bioerosión. Los factores extrínsecos, son el nivel del mar, tectonismo, oceanografía, entrada de siliciclásticos y el clima (Coniglio y Dix, 1992).

Las diferencias en el gradiente del talud están influenciadas por el balance del sedimento (ganancia contra pérdida) y/o el lugar de depositación puede ser 1) a lo largo de la parte superior del talud, con espesores de sedimento decreciendo hacia el mar, o 2) distal del borde de la plataforma, en tal caso la mayor parte del sedimento pasa sobre el talud superior sin sedimentarse. Taludes individuales pueden tener sedimentos *by-pass* (incluyendo erosionales) y deposicionales (Coniglio y Dix, 1992).

En los márgenes deposicionales los taludes generalmente son suaves y decrecen hacia la cuenca para mezclarse con el piso marino plano. Debido a que las rampas siempre tienen gradientes más bajos, los sedimentos de talud normalmente son más finos y consisten de carbonatos pelágicos y lutitas con poco desarrollo de *slumps* y deslizamientos. En los márgenes *by-pass* el margen esta sobre la cima de un acantilado o escarpe submarino, así que los sedimentos son transportados directamente del agua somera al agua profunda. Pueden evitar la mayor parte del talud a lo largo de un frente amplio, o ser canalizados a través de canales y cañones para acumularse en el pie de talud y en la cuenca adyacente. En cuencas más someras el acantilado submarino es el verdadero talud *by-pass*, bajo el cual se acumula un abanico de escombros de pie de talud peri-plataforma gruesos, terminando hacia la cuenca dentro de lodos pelágicos y peri-plataforma con turbiditas ocasionales. Los flujos son accionados en la parte superior del talud por la transgresión de depósitos peri-plataforma, en el colapso del arrecife o por *slumps* de sedimentos previamente depositados (McIlreath y James, 1984).

## 5.2 Reconstrucción deposicional de las brechas estudiadas

**El Xoconoxtle:** El análisis granulométrico y la coexistencia de sedimentos autóctonos y alóctonos indican que esta brecha se formó debido al colapso de un frente arrecifal inestable (caída de rocas) evidenciado por la presencia de rudistas, el cual originó un movimiento talud abajo de sedimentos de aguas someras y del mismo talud moviéndose bajo la fuerza de gravedad (flujo de escombros), la fragmentación de los clastos autóctonos en formas alargadas semiangulosas sugieren un emplazamiento de los flujos de escombros cuando estos se encontraban en un estado semiconsolidado, depositándose finalmente en una zona de facies de pie de talud.

**Armadillo de los Infante:** El análisis granulométrico de los componentes de la brecha de Armadillo presentan una morfología muy particular, clastos subredondeados a redondeados con alta esfericidad y moderado sorteamiento lo que indica una mayor interacción entre los granos durante el transporte, estas características aunadas al análisis microfacial de sus componentes indican que esta brecha tuvo un aporte de material desde la zona de facies de laguna post-arrecifal a través de un canal o abertura del drenaje en el borde de la plataforma, desde el cual se originó un flujo de escombros (*debris flow*) que pasó gradualmente a flujo de granos (*grain flow*), el cual fue grandemente transportado hacia la parte más distal del pie de talud e incluso el flujo llegó hasta la zona de plataforma de mar abierto.

**San Antonio de Eguía:** El análisis granulométrico de estas brechas muestra la presencia de componentes subangulosos a subredondeados con baja esfericidad de forma tabular y un sorteamiento pobre, sugiriendo un transporte relativamente bajo, o bien, la falta de interacción entre los componentes debido a un transporte soportado en lodo (*mud flow*). La nula presencia de material proveniente del margen arrecifal e inclusive detrás del mismo en el análisis microfacial, evidencia la ausencia de un borde arrecifal continuo en el margen de la plataforma (*patch reefs*), o bien, la presencia de montículos lodosos discontinuos (p.e. acumulaciones de lodo al pie del talud) en esta área. Los escasos componentes de origen arrecifal, da lugar a que el material alóctono pueda ser considerado como material origi-

nalmente depositado como calciturbiditas distales en un ambiente de talud y que posteriormente fue removido como material consolidado a zonas más profundas. Estas brechas representan la parte distal de un depósito de flujo de escombros en una zona de pie de talud a cuenca.

**El Coro:** La mezcla de componentes de origen autóctono y alóctono (Ver Cap. 3.4) indican que esta brecha se formó debido al colapso de un margen arrecifal inestable, lo que provocó la caída y formación de grandes fragmentos de roca (*submarine rockfalls*), que fueron transportados y canalizados a través del talud, originando a la vez el deslizamiento en masa (*slides*) que dio lugar a un flujo de escombros (*debris flow*) a lo largo del talud formando una brecha de grano grueso la cual se depositó finalmente en la parte más distal del talud hasta zonas del pie de talud.

**Corazones:** El análisis granulométrico de las brechas de Corazones muestra que los componentes son generalmente angulosos a subredondeados con baja esfericidad, de forma tabular y de disco; y un sorteamiento pobre a muy pobre evidenciando un transporte relativamente bajo o la falta de interacción entre estos debido a un transporte soportado en lodo. El análisis microfacial presenta un bajo contenido de fragmentos y/o clastos con rudistas, evidenciando la ausencia de un borde arrecifal continuo, o bien, la presencia de pequeños montículos de lodo (*mud mounds*) o de pequeños arrecifes (*patch reefs*). De manera general, el arreglo textural y el contenido de los componentes indican que estas brechas representan un tipo de depósito de flujo de escombros (*debris flow*) canalizado hasta una zona de cuenca.

**Rincón de Leijas:** El arreglo textural y la coexistencia de componentes de origen autóctono y alóctono en ambas brechas (Cerro El Meco y La Santa Cruz), indicando que el depósito de estas brechas tuvo lugar en un medio ambiente de aguas profundas, con una sedimentación lenta en zonas de cuenca y plataforma profunda, e inclusive hasta pie de talud; sin embargo, la presencia de material de aguas someras (bioclastos de zonas del arrecife y material de zonas post-arrecifales), evidencian un margen de plataforma con borde, muy probablemente formado por pequeños montículos aislados de rudistas (*patch reefs*) que fueron transportados y

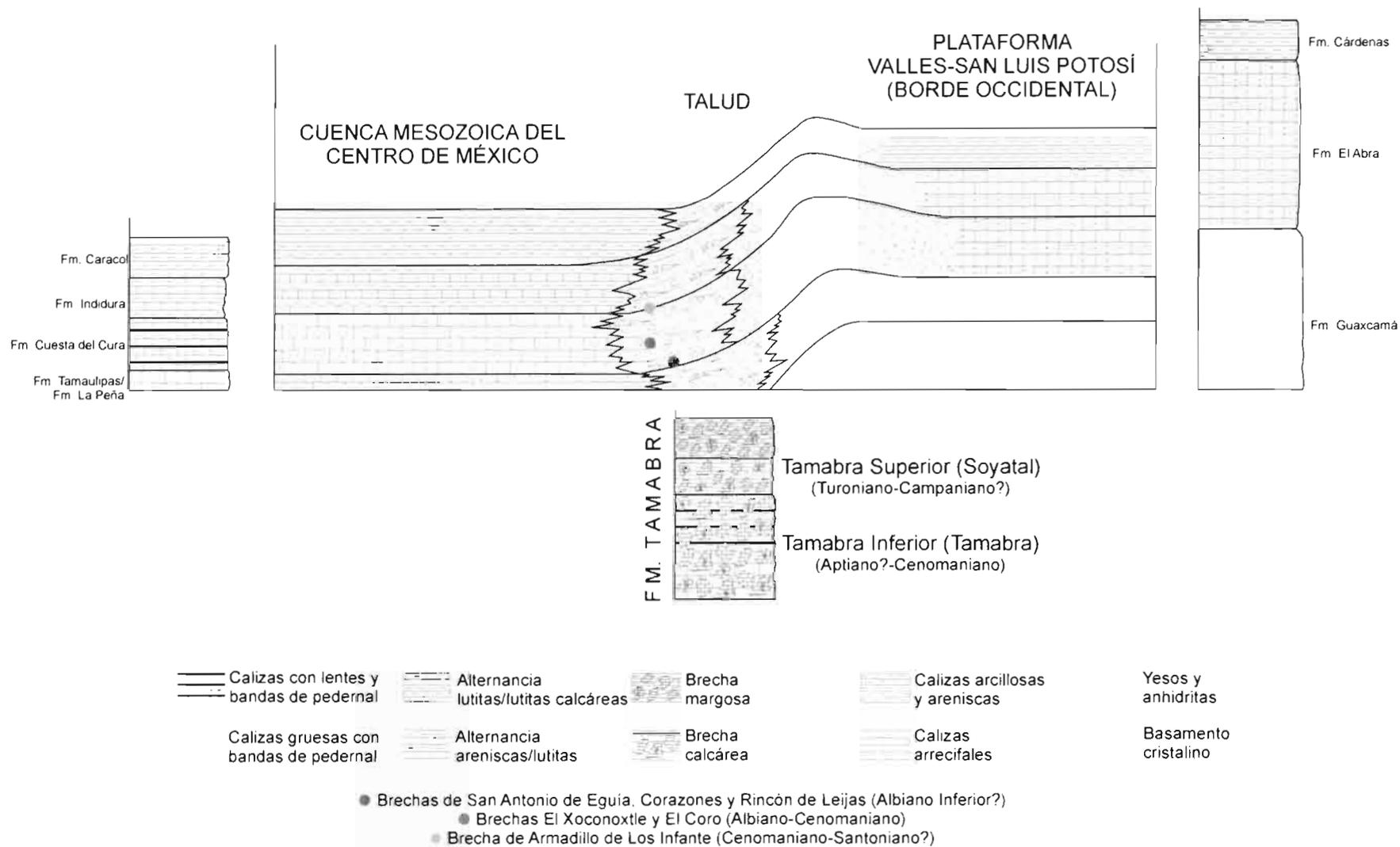
depositados en el talud por procesos gravitacionales, dando origen a la formación de flujos de escombros (*debris flows*) y corrientes turbidíticas que se depositaron hasta zonas del pie de talud a cuenca.

### **5.3 Reconstrucción paleogeográfica de la parte central del Estado de S.L.P.**

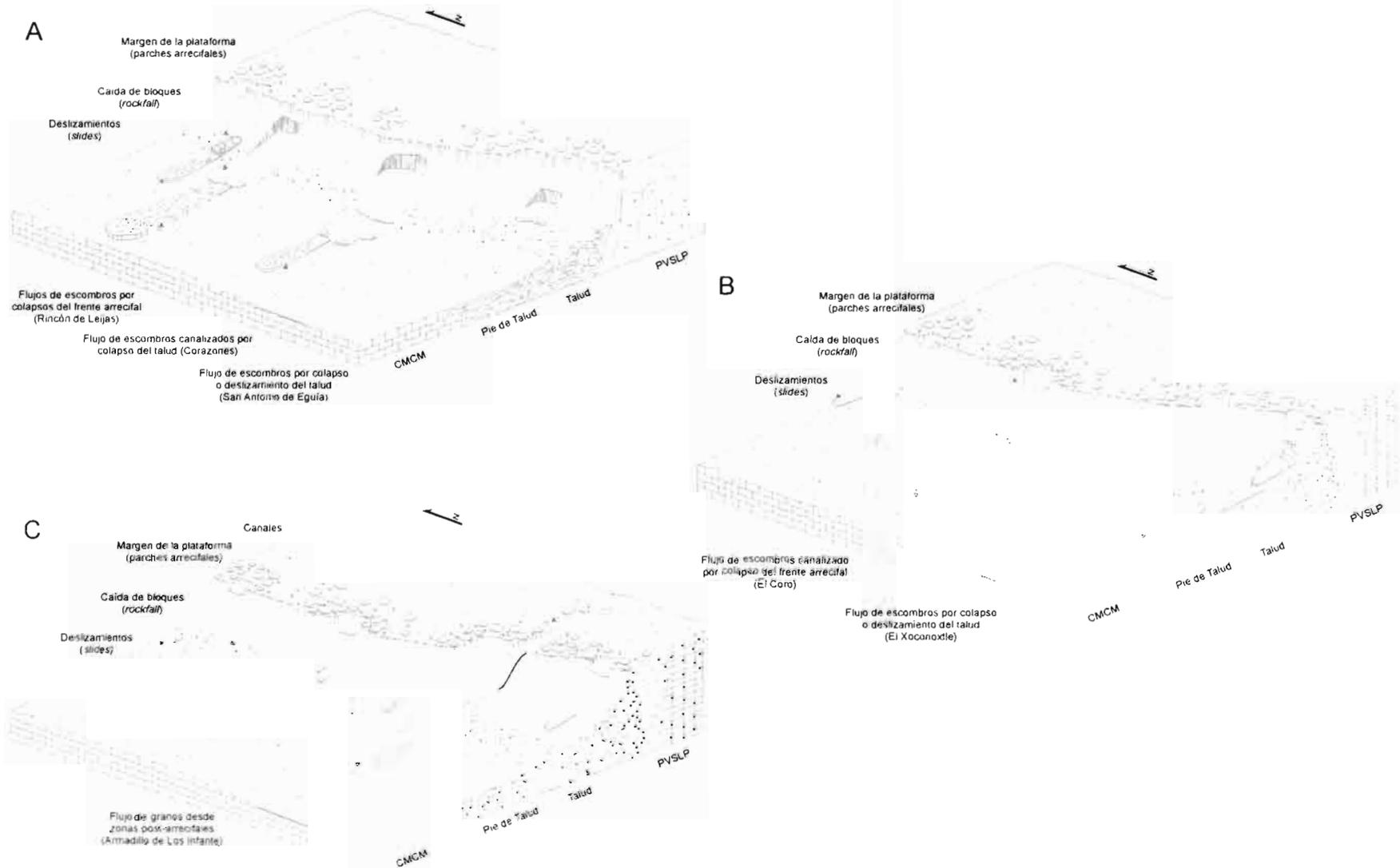
La edad de las brechas calcáreas y la reconstrucción paleogeográfica del área de estudio, está basada a partir de las observaciones realizadas en campo y resultados obtenidos, así como al análisis de la historia geológica regional disponible.

Durante el Cretácico una parte de México conformó una de las principales provincias carbonatadas con plataformas de aguas someras y cuencas de aguas profundas. Esto está representado en la porción central de Estado de San Luis Potosí, por las unidades paleogeográficas designadas con los nombres de Plataforma Valles-San Luis Potosí (PVSLP) y la Cuenca Mesozoica del Centro de México (CMCM). Dentro de la zona de transición entre estos dos grandes elementos paleogeográficos sobresale la presencia de secuencias alóctonas representados por depósitos gravitacionales de caída de rocas (*rockfall*), flujos de escombros (*debris flow*) y esporádicamente flujos de granos (*grain flow*).

Las características sedimentológicas y deposicionales de las brechas estudiadas, indican que entre la PVSLP y la CMCM prevaleció durante el Cretácico Temprano un margen ligeramente abrupto del tipo *bypass* (McIlreath y James, 1984) en un dominio claramente carbonatado, evidenciado en las brechas del Albiano Temprano? (p.e. San Antonio de Eguía, Corazones y Rincón de Leijas) (Figura 31 y 32 A) y del Albiano-Cenomaniano (p.e. El Xoconoxtle y El Coro) (Figura 31 y 32 B). Sin embargo, para el Cretácico Tardío con los primeros aportes de material terrígeno proveniente del occidente, producto de la subducción en el Pacífico y el consecuente levantamiento, se modificó el dominio carbonatado a uno terrígeno y en mucho menor grado la pendiente del talud dando lugar a la formación de un margen del tipo deposicional (McIlreath y James, 1984) como lo sugieren las brechas del Cenomaniano-Santoniano (p.e. Armadillo de Los Infante) (Figura 31 y 32 C).



**Figura 31.** Modelo representativo del desarrollo del Talud entre la PVSLP y la CMCM para el Mesozoico Tardío, en el que se muestra la ubicación de los depósitos estudiados (Modificado de López-Doncel y Rodríguez-Hernández, 2004)



**Figura 32.** Reconstrucción paleogeográfica de la zona de transición entre la PVSLP y la CMCM durante el Cretácico. Modelo de depósito para: A) brechas del Albiano Temprano?, B) brechas del Albiano-Cenomaniano y C) brechas del Cenomaniano-Santoniano? (Rodríguez-Hernández, 2007).

## 6. CONCLUSIONES

En la parte central del Estado de San Luis Potosí se han identificado depósitos de brechas calcáreas característicos de una zona de transición plataforma-cuenca, los cuales por su litología y génesis han sido reconocidos como Formación Tamba (López Doncel, 2003).

El análisis granulométrico realizado en las brechas calcáreas del área de estudio, mostró de manera general, distribuciones de tamaño de grano bimodales y poli-modales, con desviaciones estándar ( $\sigma$ ) que oscilaron entre 1.24 a 2.78  $\phi$ , caracterizando al grado de selección de los depósitos de un pobre a muy pobre sorteo, a excepción de la brecha de la localidad de Armadillo de Los Infante, la cual mostró un grado de selección moderado ( $\sigma=1.0 \phi$ ). El diámetro medio de los clastos (Md) que predominó en las brechas fluctuó desde -2.55 hasta -7.79  $\phi$ , es decir, abarcando componentes del tamaño de guijarros finos hasta cantos y/o guijas grandes. Los valores de skewness fueron en su mayoría positivos lo que indica una clara tendencia al material fino. La kurtosis se mantuvo de manera general de mesocúrtica a platicúrtica, reflejando una distribución del tamaño de grano de media a alta y la pobre selección de las brechas.

Las brechas estudiadas están compuestas de floatstone a rudstone de intraclastos, bioclastos, extraclastos, ooides, granos cubiertos y pellets; dentro de las cuales se diferencian claramente dos tipos de sedimentación: el primer tipo está representado por clastos tabulares angulosos que varían en composición desde wackestone de espículas y radiolarios (SMF 1), mudstone a wackestone con bioturbación, pequeños bioclastos y radiolarios (SMF 1-Burrowed), wackestone de pequeños bioclastos, calcisferas y globotruncanas (SMF 1-Burrowed), wackestone a packstone con calcisferas y pellets (SMF 2), wackestone de calcisferas, pellets, bioclastos y globigerinas (SMF 2 Y 3), mudstone a wackestone con radiolarios, globigerinas, tintínidos, filamentos, equinodermos y amonites (SMF 1-B y 3), mudstone y wackestone pelágico con calcisferas, foraminíferos planctónicos y

amonites /SMF 1 y 3), laminación rítmica de mudstone/wackestone/packstone de calcíferas, bioclastos y globigerinas (SMF 1 y 2) y mudstone de foraminíferos planctónicos y radiolarios / packstone de pellets y miliólidos (SMF 2 y 3), indicando una sedimentación lenta autóctona depositada en ambientes de aguas profundas característica de zonas de facies de cuenca, plataforma de mar abierto e inclusive pie de talud (FZ 1 a 3) y el segundo tipo está representado por clastos subredondos y material de origen alóctono (marino somero), transportados por procesos gravitacionales y de suspensión desde el margen de plataforma y zonas post-arrecifales (FZ 4 a 7), sobresaliendo la presencia de bioclastos (algas, esponjas, corales, rudistas, bivalvos, braquiópodos), foraminíferos (orbitolínidos y miliólidos) y extraclastos compuestos de wackestone de bioclastos y gasterópodos (SMF 8), wackestone con bioclastos, granos cubiertos y pellets (SMF 8 y 9), wackestone/packstone con bioclastos y granos cubiertos (SMF 9), packstone/grainstone de pseudopellets, bivalvos, espinas de equinodermos y orbitolínidos (SMF 10), grainstone de bioclastos cubiertos, pellets y ooides (SMF 11), grainstone de bioclastos cubiertos y con cemento esparítico (SMF 11), wackestone con ooides y granos cubiertos (SMF 15-C), packstone y grainstone con abundantes foraminíferos bentónicos, granos cubiertos y pellets (SMF 18) y packstone foraminífero con abundantes miliólidos (SMF 18-For).

Las características litológicas, morfológicas, texturales y granulométricas de las brechas que afloran en el área de estudio, indican que hacia la zona de transición entre la Plataforma Valles-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México prevaleció la existencia de un margen abrupto de tipo *by-pass* (McIlreath y James, 1984), evidenciado por la coexistencia de componentes de origen autóctono y alóctono indicando que la formación y origen de las brechas estudiadas se formaron debido al aporte de material desde zonas post-arrecifales a través de canales y/o colapsos de zonas inestables del margen de la plataforma debido a la progradación del frente arrecifal o actividad sísmica, originando el desprendimiento de grandes bloques de roca (p.e. Brechas de El Coro) que fueron transportados y canalizados (p.e. Brechas de Corazones) a lo largo del talud (*submarine rockfalls*),

siendo el motor de arranque para la formación de flujos de escombros (p.e. Brechas de El Xoconoxtle, San Antonio de Eguía, Rincón de Leijas) compuestos de clastos gruesos soportados y acarreados por una mezcla de lodo y agua (*debris flow*) y en algunos casos la formación de flujos de granos (*grain flow*) (p.e. Armadillo de Los Infante), depositándose finalmente como una brecha de grano grueso en la zona distal del pie de talud (FZ 3).

## BIBLIOGRAFÍA

- Alaníz-Álvarez, S.A., Ferrari, L., (eds.), 2000, Avances de la Geología Mexicana en la última década: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, A. C., Tomo LIII, No. 1.
- Álvarez, M. Jr., 1961, Provincias Fisiográficas de la República Mexicana, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 24, No. 2, p. 5-20.
- Aguayo-Camargo, J.E., 1975, Sedimentary environments and diagenetic implications of the El Abra Limestone at its type locality, east Mexico: Dallas, Texas, University of Texas, Tesis doctoral, 159 p. (no publicada)
- Aguayo-Camargo, J.E., 1978, Sedimentary environments and diagenesis of Cretaceous reef complex, eastern Mexico: Universidad Autónoma de México, Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, 5 (1), 83-140
- Aranda-Gómez, J.J., Labarthe-Hernández, G., 1977, Estudio Geológico de la Hoja Villa Hidalgo, Estado de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia. Folleto Técnico No. 53 33-58 p.
- Arcos-Hernández, J.L., Cruz-Ocampo, J.C., Cabrera-Ramírez, M.A., Victoria-Morales, A., 2004, Determinación de porcentajes de contenidos mineralógicos en muestras de roca de manera automatizada mediante el uso de un analizador de imágenes, *in* IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Libro de Resúmenes: Juriquilla, Querétaro; Sociedad Geológica Mexicana, 180-181.
- Barboza-Gudiño, J.R., Torres-Hernández, J.R., Maldonado-Lee, J.M., Rosales-Franco, E., 2002, Carta Geológico-Minera y Geoquímica Villa Hidalgo (F-14-A-74), ESCALA 1:50000 Consejo de Recursos Minerales.
- Barnette, A., Illing, L.V., 1956, The Tamabra limestone of the Poza Rica oil field, Veracruz, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 38 p.
- Bartolini, C., Buffer, R.I., and Cantu-Chapa, A., (eds.), 2001, The Western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, Sedimentary Basins, and Petroleum Systems, A.A.P.G., Memoir 75, 480 p.
- Basañez-Loyola, M.A., Fernández-Turner, R., Rosales-Domínguez, C., 1993, Cretaceous platform of Valles-San Luis Potosí, northeastern central Mexico, in Simo, J.A.; Scott, R., Masse, J.P. (eds), Cretaceous Carbonate Platforms: Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 56, 51-59.

- Blount, D.N., Moore, C.H.Jr., 1969, Depositional and non-depositional carbonate breccias, Chiantla Quadrangle, Guatemala. - Geol. Soc. Amer. Bull, 80, 429-442, 3 Pls., 5 Figs., New York.
- Bunte, K., Abt, S.R., 2001, Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-74, Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 56-85.
- Carrasco-V., B., 1977, Albian sedimentation of submarine autochthonous and allochthonous carbonates, east edge of the Valles-San Luis Platform, Mexico: Tulsa, Society of Economic, Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 25, 263-257.
- Carrillo-Bravo, J., 1971, La Plataforma Valles-San Luis Potosí.- Resumen. Bol. Asoc. Méx. Geol. Petrol. 1-101 p.
- Carrillo-Bravo, J., 1982, Exploración Petrolera de la Cuenca Mesozoica del Centro de México.- Bol. Asoc. Méx. Geol. Petrol. 77 p.
- Coniglio, M., Dix, R.G., 1992, Carbonate Slopes, *in* Walter, R. G., James, N. P., Facies Models: Response to Sea Level Change: Newfoundland, Geological Association of Canada, 454 p.
- Cook, H.E., McDaniels, P.M., Mountjoy, E.W. , Pray, L.C., 1972, Allochthonous carbonate debris flows at Devonian bank (reef) margins, Alberta, Canada. - Bull. Canad. Petrol. Geol., 20, 439-497, Calgary.
- Cook, H.E., Mullins, H.T., 1983, Basin margin environment, *in*: Carbonate Depositional Environments (Ed by P. A. Scholle, D.G. Bebout and C.H. Moore) Mem. Am. Ass. Petrol. Geol. 33, 540-617.
- COREMI, 1992, Monografía Geológico - Minera del Estado de San Luis Potosí, 217 p.
- Cruz-Márquez, J., 2005, Mapeo Geológico y Estudio Sedimentológico de la Secuencia Calcáreo-arcillosa del Cretácico Superior de la Sierra "El Meco", Villa de Arista, S. L. P.: Trabajo Recepcional, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, 55 p.
- De Cserna, E. y Bello-Barradas, A., 1963, Geología de la parte central de la Sierra de Álvarez, Municipio de Zaragoza, Estado de San Luis Potosí, *in* Zoltan de Cserna (ed.), Estudios Geológicos en los Estados de Durango y San Luis Potosí, Universidad Autónoma de México, Instituto de Geología, Bol. 71, pte. 2, 23-63.

- Dickinson, W.R., Lawton, T.F., 2001, Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico, Geological society of America, Bulletin, v. 113, No. 9, p. 1142-1160.
- Dunham, R.J., 1962, Classification of Carbonate rocks according to depositional processes.- Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 1:108-121.
- Einsele, G., 2000, Sedimentary basins. Evolution, Facies and Sediment Budget. Springer-Verlag, Berlin.792 p.
- Enos, P., 1974, Reefs, platforms and basins of middle Cretaceous in northeast Mexico: American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 58 (5), 1419-1447.
- Enos, P., 1977, Tamabra Limestone of the Poza Rica trend, Cretaceous, Mexico, *in* Cook, H.E., Enos, P. (eds.): Carbonate Depositional Environments: Tulsa, Society of Economic, Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 25, 273-314.
- Enos, P., Moore, C.H., 1983, Fore-reef slope environment, in Scholle P.A., Bebout, D.G., Moore, C.H. (eds.): Carbonate Depositional Environments: Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 33, 508-537.
- Flügel, E., 1979, Microfacies Analysis of Limestones., Springer-Verlag, Berlin, 663 p.
- Flügel, E., 1982, Microfacies Analysis of Limestones. Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Flügel, E., 2004, Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application, Springer, 976 p.
- Folk, R.L., 1959, Practical petrographic classification of limestones. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* 43, 1-38.
- Folk, R.L., 1962, Spectral subdivision of limestones types. Amer. Ass. Petrol. Geol., Mem.1, 62-84, 1 Tab., 7 Figs., Tulsa.
- Folk, R.L., 1966, A review of grain-size parameters. *Sedimentology* 6: 73-93.
- Folk R.L., Ward W.C., 1957, Brazos river bar : a study of significant of grain size parameters., *Journal. Sediment. Petrol.* 27 : 3-26
- Friedman, G.M., 1965, Terminology of crystallization textures and fabrics in sedimentary rocks: *J. Sedim. Petrol.*, 35, 643-655.

- Garza-Blanc, S.A., 1978, Cartografía Geológica Santa Catarina, S.L.P. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto Técnico No. 61, 37 p.
- Guel-Díaz de León, A., 1985, Monografía: Mesa Central y Plataforma de Valles-San Luis Potosí, PEMEX, inédito.
- Heim, A., 1940, The front ranges of Sierra Madre Oriental, Mexico, from Ciudad Victoria to Tamazunchale: *Ecologiae Geologicae Helvetiae*, 33 (2), 313-352
- Hiscott, R.N., James, N.P., 1985, Carbonate debris flows, Cow Head Group, western Newfoundland: *Jour. Sed. Petrology*, 55, p. 735-745.
- INEGI, 2002, Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí, Publicación única, Primera Edición, 124 p.p.
- Inman, D.L., 1952, Measures of describing the size distribution of sediments: *Jour. Sedim. Petrol.*, 22 (3), 125-145.
- Keith, B.D., Friedman, G.M., 1977, A slope fan basin – plain model. Taconic secun-  
ence, New York and Vermont: *J. Sedim. Petrol.*, 47, 1220-1241.
- Krumbein, W.C., 1934, Size frequency distributions of sediments: *J. Sedim. Petrol.*  
4: 65-77
- Krumbein, W.C. , 1935, Thin-Section Mechanical Analysis of Indurated Sediments:  
*Journal of Geology*, 43, 482-496.
- Krumbein, W.C., 1936, Application of logarithmic moments to size frequency distri-  
butions of sediments: *J. Sedim. Petrol.* 6: 35-47.
- Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., 1978, Cartografía Geológica San  
Luis Potosí, S.L.P. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de  
Geología y Metalurgia, Folleto Técnico No. 59, 40 p.
- Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M. y Aranda-Gómez, J.J., 1982, Revi-  
sión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del Estado de San Luis  
Potosí.- Instituto de Geología y Metalurgia, Universidad Autónoma de San  
Luis Potosí, Folleto Técnico No. 85, 208 p.
- López-Doncel, R., 2000a, La Brecha calcárea de la Sierra Del Coro como un indi-  
cador de la dinámica de la margen occidental de la Plataforma Valles-San  
Luis Potosí, in VII Congreso Mexicano de Paleontología y Primer Simposio  
Geológico en el Noreste de México, Libro de Resúmenes: Linares, N. L.,  
Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra,  
Sociedad Mexicana de Paleontología, 40-41.

- López-Doncel, R., 2000b, Nuevos datos sobre la geología de la margen occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí: Geos. Boletín Informativo de la Unión Geofísica Mexicana, 20 (3), 155-156.
- López-Doncel, R., 2000c, Karbonatfazielle Entwicklung während der mittleren Kreide am westlichen Rand der Valles-San Luis Potosi-Plattform (Mittel-Mexiko): Technische Universität Clausthal, Tesis Doctoral, 174 p. (no publicado).
- López-Doncel, R., 2002, Estudios Estratigráficos y Deposicionales de la Formación Soyatal (Turoniano), en la Sierra de Álvarez y Sierra del Coro, porción centro-occidental del Estado de San Luis Potosí: Geos. Boletín Informativo de la Unión Geofísica Mexicana, 335-336.
- López-Doncel, R., 2003, La Formación Tamabra del Cretácico medio en la porción central del margen occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, centro-noreste de México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 20 (1), 1-19.
- López-Doncel, R., 2004, Manual para la clasificación de rocas carbonatadas, Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Folleto Técnico No. 127, 33 p.
- López-Doncel, R., Rodríguez-Hernández, E.I., 2004, Control litológico de los depósitos alóctonos en una zona de transición plataforma-cuenca, in IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Libro de Resúmenes: Juriquilla, Qro., Centro de Geociencias, UNAM, Sociedad Geológica Mexicana, 118.
- López-Doncel, R., Tapia-Uresti, I., 2001, Tipos de depósitos en la parte central del margen occidental de la Plataforma cretácica Valles-San Luis Potosí: Geos, Boletín Informativo Unión Geofísica Mexicana, 21 (3), 160-161.
- López-Ramos, E., 1985, Geología de México.- México, D.F., Tesis Reséndiz, Tomo II, 454 p.
- Lugo-Hubp, J. 1990, El Relieve de Republica Mexicana, Rev. Inst. Geol. Univ. Nac. Aut. México, v. 9, No. 1, p. 82-111.
- Mcllreath, I.A., James, N.P., 1978, Facies Models 12; carbonate slopes: Geoscience Canada, 5 (4), 189-199.
- Mcllreath, I.A., James, N.P., 1984, Carbonate slopes, *in*: Facies Models (Ed. by R.G. Walker), Geoscience Canada, 245-257.

- Middleton, G.V., Hampton, M.A., 1976, Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows. *In: Marine Sediment Transport and Environmental Management* (Ed. by D.J. Stanley and D.J.P. Swift), John Wiley, New York, 197-218.
- Minero, C.J., 1991, Sedimentation and diagenesis along open and island-protected windward carbonate platform margins of the Cretaceous El Abra Formation, Mexico: *Sedimentary Geology*, 71, 261-228.
- Minero, C.J., 1988, Sedimentation and diagenesis along an island-sheltered platform margin, El Abra Formation, Cretaceous of Mexico. *In: Paleokarst* (Ed. N.P. James and P.W. Choquette), Springer-Verlag, Berlin and New York, 385-405.
- Muir, J.M., 1936, *Geology of the Tampico Region, Mexico*: Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, 280 p.
- Norton, W.H., 1917, A classification of breccias. - *J. Geol.*, 25, 160-194.
- Raisz, E., 1959, *Landforms of Mexico*: Cambridge, Mass., Mapa con texto, escala 1:3'000,000.
- Randazzo, A.F., L.G. Zachos, 1983, Classification and Description of Dolomitic Fabrics of Rocks from the Floridan Aquifer, U.S.A., *Sed.Geol.*, 37, pp. 151-162.
- Read, J.F., 1985, *Carbonate Platform facies models*: American Association on Petroleum Geologists, 280 p.
- Richter, D.K., Füchtbauer, H., 1981, Merkmale und Genese von Breccien und ihre Bedeutung im Mesozoikum von Hydra (Griechenland). - *Z. deutsch. geol. Ges.*, 132, 451-501, 5 Pls., 9 Figs., Hannover.
- Rodríguez-Hernández, E.I., 2004, *Actualización Estratigráfica de la Porción Centro-Septentrional del Estado de San Luis Potosí: Trabajo Recepcional*, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, 95 p.
- Rodríguez-Hernández, E.I., López-Doncel, R., Cruz-Márquez, J., 2005, Análisis granulométrico de brechas calcáreas con ayuda de imágenes digitales, implicaciones-deposicionales y litofaciales: Resultados preliminares, in XV Congreso Nacional de Geoquímica, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, *Actas INAGEQ*: Vol. 11, No. 1, p. 120-125.
- Scholle, P.A., 2002, *A Color Illustrated Guide To Carbonate Rock Constituents, Textures, Cements and Porosities*, AAPG Memoir 27 on CD-ROM.

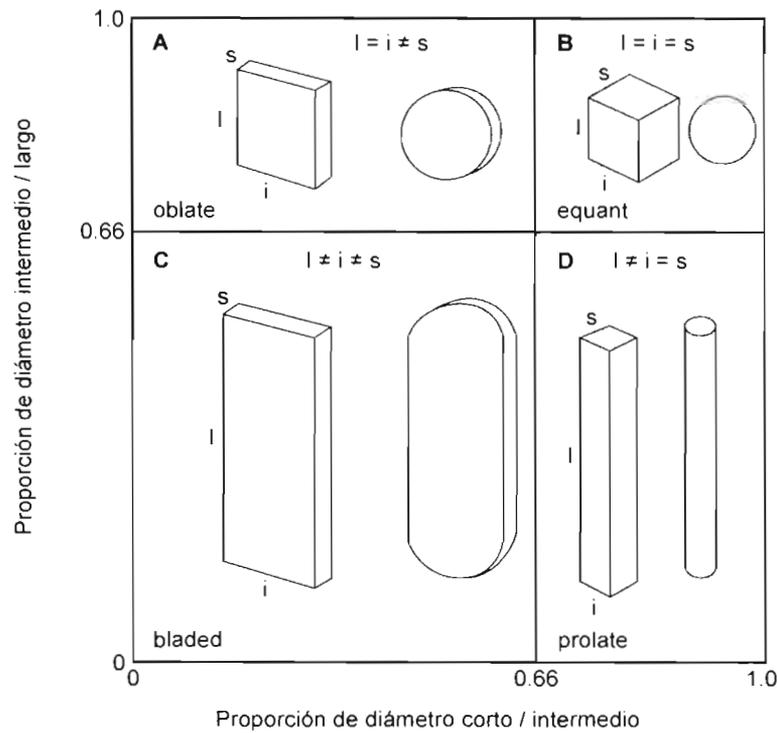
- Spence, G., Tucker, M.E., 1997, Genesis of limestone megabreccias and their significance in carbonate sequence stratigraphic models - a review. *Sedimentary Geology*, 112, 163-193.
- SSP., 1983, Carta Estatal de Regionalización Fisiográfica, San Luis Potosí.
- Tapia-Uresti, I., 2003, Estudio Sedimentológico, Facial y Petrográfico de la Porción Central de la Zona de Transición entre la Plataforma Valles-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México: Trabajo Recepcional, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, 69 p.
- Taylor, J.M., 1950, Pore-space reduction in sandstones: *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, v. 34, p. 701-716.
- Tristán-González, M., Aguillón-Robles, A., López-Ojeda, J.A., Martínez-Rodríguez, L., 2002, Carta Geológica-Minera y Geoquímica San Luis Potosí (F-14A-23), escala 1:50,000, Consejo de Recursos Minerales.
- Tucker, M.E., 2000, *Sedimentary Rocks in the Field*, Second Edition, John Wiley & Sons, 153 p.
- Tucker, M.E., 2001, *Sedimentary Petrology*. 3rd Edition. Blackwell Science, Oxford.
- Tucker, M.E., Wright, V. P., 1990, *Carbonate Sedimentology*, Blackwell Science, Oxford, 482 p.
- Van Den Berg E.H.; Bense V.F. & Schlager, W., 2003, Assessing textural variation in laminated sands using digital image analysis of thin sections: *Journal on Sedimentary Research*, 73 (1), 133-143.
- Wentworth, C.K, 1936, Discussion: The method of moments. *J. Sedim. Petrol.* 6: 158-159.
- White, D.C., 1949, Los Yacimientos de antimonio de la región de Soyatal, Estado de Querétaro, *Bol. Inst. Nac. Invest. de Rec. Min.* No. 21.
- Visher, G.S., 1969, Grain size distributions and depositional process, *Journal of Sedimentary Petrology*, 39 (3), 1074-1106.
- Wilson, B.W., Hernández, M.J.P., Meave, T.E., 1955, Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del Estado de Querétaro, *Bol.Soc. Geol.*, Vol.18 1-10.
- Wilson, J.L., 1975, *Carbonate facies in Geologic History*: Berlin, Springer, 471 p.

- Wilson, J.L., 1987, Controls on carbonate platform-basin systems in northeast Mexico: Linares, N. L., Universidad Autónoma de Nuevo León, Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, 2, 23-24.
- Wilson, J.L., 1990, Basement structural controls on Mesozoic carbonate facies in Mexico – a review, *in* Tucker, M., Wilson, J.L., Crevello, P.D., Sarg, J.F., Read, J.F. (eds), Carbonate Platforms, Facies, Sequences and Evolution: International Association of Sedimentologists, Special Publication, 9, 235-255.
- Wilson, R.C., 1986, Estimating rainfall required to initiate debris flows. Try-horn, Alan D. Association of Engineering Geologists, 29th annual meeting; Better living through engineering geology. Geo;Resour. Consult., San Francisco, CA, United States. Annual Meeting Association of Engineering Geologists, 29, 69 p.
- Zarate-Muñoz, J.C., 1977, Cartografía geológica Hoja Villa de Arista, S.L.P.: Inst. Geol. Metal. Folleto Técnico No. 52, 47 p.

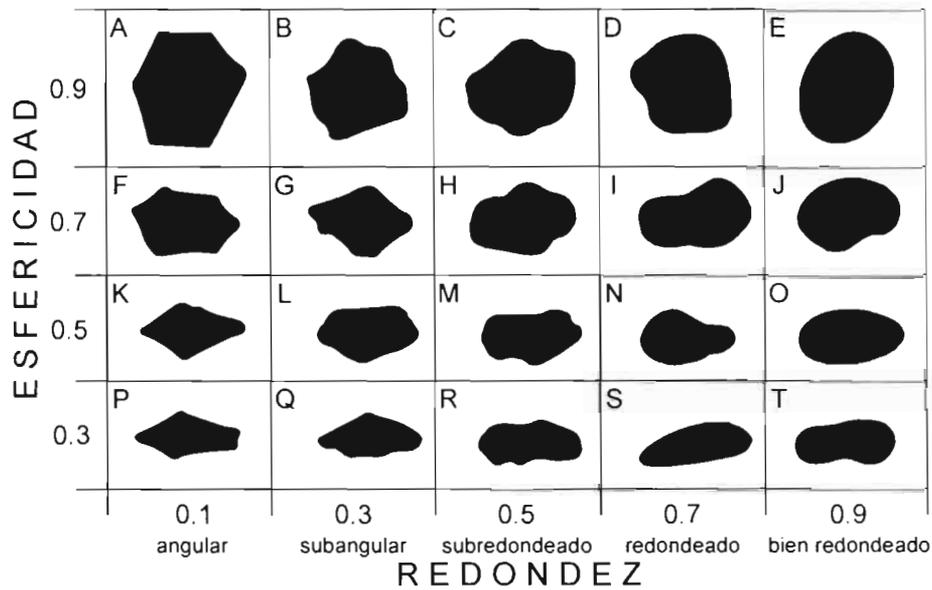
# APÉNDICES

Unidades Phi*	Tamaño	Escala de Wentworth	Sedimento/Nombre de la Roca
-8	256 mm	Bloques	Sedimento: GRAVA
-6	64 mm	Cantos	
-2	4 mm	Guijarros	Roca: RUDITAS (conglomerados, brechas)
-1	2 mm	Grava	
0	1 mm	Arena Muy Gruesa	Sedimento: ARENA
1	1/2 mm	Arena Gruesa	
2	1/4 mm	Arena Media	
3	1/8 mm	Arena Fina	
4	1/16 mm	Arena Muy Fina	Sedimento: LODO
8	1/256 mm	Limo	
		Arcilla	

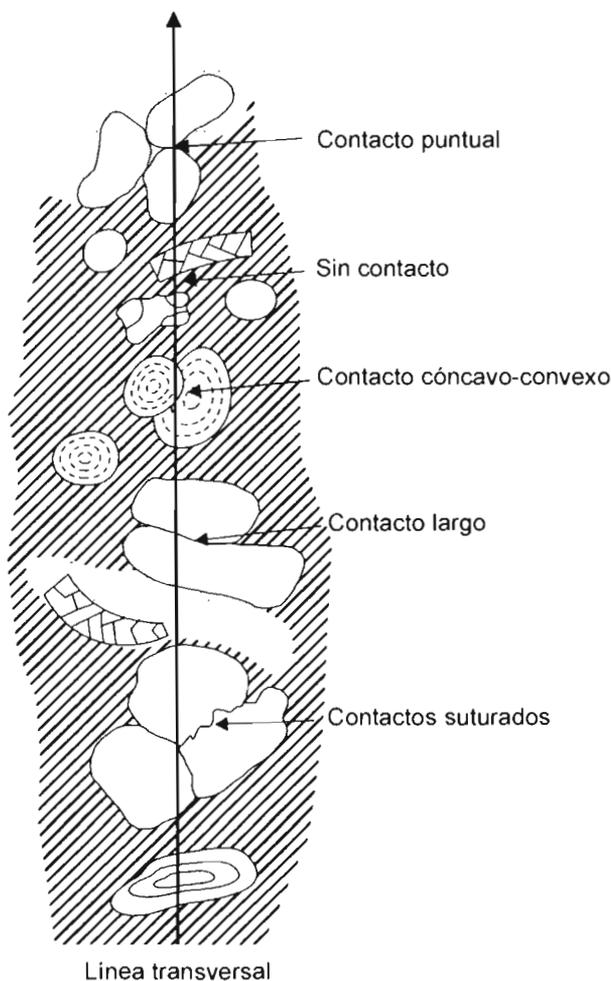
**Apéndice 1.** Escala de tamaño de grano según Wentworth y Udden



**Apéndice 2.** Las cuatro clases de forma de grano basados en las proporciones de los diámetros largo (l), intermedio (i) y corto (s) (después de T. Zingg). Las clases son **A**, oblate (forma tabular o discoidal); **B**, equant (cúbica o esférica); **C**, bladed y **D**, prolate (forma redondeada). Para cada clase se ilustra una forma de redondez 0 y 6.



**Apéndice 3.** Tabla de comparación para estimar la redondez y esfericidad de granos del tamaño de la arena (adaptado de Krumbein y Sloss 1963).



**Apéndice 4.** Descripción de los tipos de contactos entre granos de acuerdo con Taylor (1950). Los más importantes son los contactos puntuales, contactos largos, contactos cóncavo-convexos, y contactos suturados. Los contactos puntuales indican compactación inicial, los contactos largos incremento en la compactación, y los contactos suturados y cóncavo-convexos señalan los efectos de disolución por presión en los contactos de los granos. Mediciones tomadas a lo largo de una línea transversal ayudan a cuantificar diferentes tipos de contactos entre los granos y las líneas transversales pueden ser verticales al estrato sedimentario.

		Escala Phi		Carbonatos
mm				
2048	-11	muy grandes		
		grandes	Bloques	
1024	-10	medios		
		pequeños		
512	-9			
256	-8	grandes		
		pequeños	Cantos	
128	-7			
64	-6			
		muy gruesos		
32	-5	gruesos		
		medios	Guijarros	
16	-4			
8	-3	finos		
4	-2			
			Grava	Calcirudita
2	-1			
		muy gruesa		
1	0	gruesa		
$\mu\text{m}$		media	Arena	Calcarenita
500	1			
		fina		
250	2	muy fina		
125	3			
63	4	grueso		
		medio		
32	5			
		fino	Limo	Calcilutita
16	6			
		muy fino		
8	7			
4	8	gruesa		
		media		
2	9			
		fina	Arcilla	Micrita
1	10			
		muy fina		
1/2	11			

**Apéndice 5.** Escala de tamaño de grano de Wentworth-Udden y tamaño de grano basado en términos usados para diferenciar rocas carbonatadas (Tomada de Flügel, 2004).

A	Coefficiente de sorteamiento	Caracterización
	> 4	extremadamente pobre
	2 - 4	muy pobre
	1 - 2	pobre
	0.71 - 1	moderado
	0.50 - 0.71	bien moderado
	0.35 - 0.5	bueno
	< 0.35	muy bueno

B	Valores de Skewness	Descripción en términos de:	
		Unidades $\phi$	Tamaño de partícula relativo (mm)
	-0.3 a -1	skewness muy negativo	muy sesgada hacia el lado fino
	-0.1 a -0.3	skewness negativo	sesgada hacia el lado fino
	-0.1 a 0.1	simétrico	simétrica
	0.1 a 0.3	skewness positivo	sesgada hacia el lado grueso
	0.3 a 1	skewness muy positivo	muy sesgada hacia el lado grueso

C	Valores	Clasificación	Explicación
	< 0.67	muy platicúrtica	frecuencia de distribución muy plana
	0.67 - 0.90	platicúrtica	plana
	0.90 - 1.11	mesocúrtica	normal
	1.11 - 1.50	leptocúrtica	altamente puntiaguda
	> 1.50	muy leptocúrtica	muy altamente puntiaguda

**Apéndice 6.** Parámetros estadísticos del tamaño de grano según Folk y Ward (1957). (A) Clasificación del grado de sorteamiento. (B) Clasificación de valores de skewness. (C) Clasificación de valores de kurtosis. (Tomado de Bunte y Abt, 2001).

(Calizas alóctonas) Componentes primarios sin relación organogénica durante la sedimentación						(Calizas autóctonas) Componentes primarios con relación organogénica durante la sedimentación		
Menos del 10% de componentes >2 mm				Más del 10% de componentes >2 mm		Relacionados con organismos		
Con micrita (<0.03 mm)		Sin micrita		Mud-supported	Grain-supported			
Mud-supported		Grain-supported						Boundstones
Menos del 10% de componentes (>0.03 mm <2 mm)	Más del 10% de componentes							
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone

**Apéndice 7.** Clasificación de carbonatos según Dunham (1962) modificado por Embry y Klovan (1972)  
Traducción de López-Doncel (2004).

## Rocas Carbonatadas Aloquímicas

## Rocas Carbonatadas Ortoquímicas

Componentes (Aloquímicos)

**ESPARITA I**  
(Cemento de calcita tardío)

**MICRITA II**  
(Matriz de calcita microcristalina)

**MICRITA III**  
(Sin componentes)

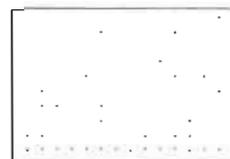
INTRACLASTOS



Intraesparita



Intramicrita

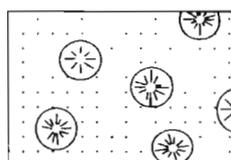


Micrita

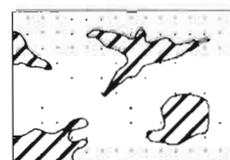
OOIDES



Oosparita



Oomicrita

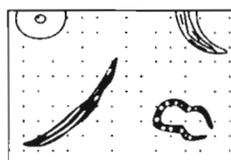


Dismicrita  
(Micrita disturbada)

BIOGENOS



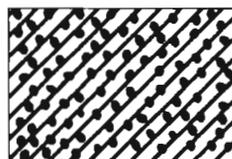
Bioesparita



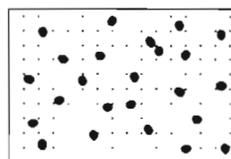
Biomicrita

**Calizas arrecifales autóctonas IV**

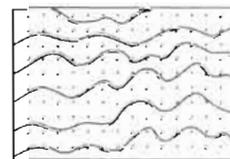
PELOIDES  
(pellets)



Pelesparita



Pelmicrita



Biolitita



Esparita (cemento tardío)



Micrita

**Apéndice 8.** Clasificación de las rocas carbonatadas según Folk (1959, 1962).  
Traducción de López-Doncel (2004).

ZONA DE FACIES 1	ZONA DE FACIES 2	ZONA DE FACIES 3	ZONA DE FACIES 4	ZONA DE FACIES 5	ZONA DE FACIES 6	ZONA DE FACIES 7	ZONA DE FACIES 8	ZONA DE FACIES 9	PERFIL DE FACIES
CUENCA	PLATAFORMA DE MAR ABIERTO	PIE DE TALUD	TALUD	ARRECIFE	BARRERA	LAGUNA POST-ARRECIFAL	LAGUNA RESTRINGIDA	EVAPORITAS SALINAS	
		Brechas calcáreas y turbiditas Estratos con laminación fina Lodos de pendiente	Bloques de talud Cavidades rellenas Lodos de baja pendiente	Lodos de baja pendiente Montículos de arrecife Marcas de Boudstone Borde y barrera de restos de arrecifes Ramales y estrias	Islas, dunas Barreras Pases y canales	Deitas lagunares Lodos típicos de plataforma Columnas de algas Canales y barreras de arenas limosas	Plano de mareas Canales y charcos naturales Línea de algas	Domos de anhidritas Estructuras típicas Cortezas de yeso Salinas (charcos evaporíticos) Sabkhas (planos de evaporitas)	SEGUNDO ORDEN DE CUERPOS SEDIMENTARIOS
Laminación milimétrica Sedimentación rítmica Riples y laminación cruzada	Huellas de bioturbación Lodos en forma de nódulos	Laminación menor a menudo capas masivas Lentes de sedimento graduado Litoclastos a bloques Estatificación rítmica	Slumps y sedimentación suave Sedimentos en masa Biohermas de pendiente Bloques	Estructuras orgánicas o estructura retrabajada con cavidades Laminación contraria a la gravedad	Estratificación cruzada en escala media a grande	Son comunes las huellas de bioturbación	Laminación cruzada de arenas en canales Estromatolitos Laminación en milímetros	Laminación irregular Caliche Anhidritas Nódulos, rosetas	SEDIMENTOS Y ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS
1 Espículas 2 Calcilita microbioclástica 3 Micrita pelágica Radiolarita	2 Calcilita microbioclástica 8 Wackestone con organismos completos en micrita 9 Wackestone bioclástico 10 Granos cubiertos en micrita	2 Calcilita microbioclástica 3 Micrita pelágica 4 Microbrecha bioclástica y litoclástica	4 Microbrecha bioclástica y litoclástica Conglomerado litoclástico 5 Grainstone a Packstone bioclásticos Floatstone 6 Rudstone del arrecife	7 Boundstone 11 Grainstone con bioclastos cubiertos 12 Coquina	11 Grainstone con bioclastos cubiertos 12 Coquina 13 Grainstone bioespáritico con oncodes 14 "Lags" 15 Oolitas	8 Wackestone con organismos en micrita 9 Wackestone bioclástico 10 Granos cubiertos en micrita 16 Pelesparita 17 Grapestone con oncodes en micrita 18 Grainstone de foraminíferos o diacycladaceas	16 17, 18 19 Micrita laminada peloidal con estructura de ventanas (fenestral?) 24 Rudstone en canales 21 Mudstone de espongiotromatas 23 Micrita homogénea sin laminación 22 Micrita con oncodes	20 Micrita estromatolítica 23 Micrita homogénea sin laminación Nodular-pearl enterolithic anhydrite Selenite blades in micrite	MICROFACIES ESTANDAR

Apéndice 9. Diagrama para la clasificación de Facies y Microfacies propuesto por Wilson.  
(Modificado de Wilson, 1975)

