

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN CHULEC
EN LA ZONA DE PUYLLUCANA - SANTA ÚRSULA.**

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO**

**Presentado por el Bachiller:
PERCY LUIS TORRES GARCÍA**

**Asesor:
ING. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI**

CAJAMARCA - PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN CHULEC EN LA
ZONA DE PUYLLUCANA – SANTA ÚRSULA.**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por el bachiller:

PERCY LUIS TORRES GARCÍA

Asesor:

ING. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI

CAJAMARCA – PERÚ

2014.

DEDICATORIA

Con amor y cariño a toda mi familia: Clara, Luis, Denys, Katherine, Lorena y Christopher por brindarme siempre su apoyo y comprensión a lo largo de todos estos años de vida universitaria.

A ti, amigo Draco Falco Feira Do Santos no te he olvidado amigo mío.

A mis maestros y amigos, por haberme brindado sus conocimientos y experiencias a través de todos estos años; ha sido todo un honor haber sido su alumno.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación ha sido posible realizarlo con el apoyo de mi Familia, la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, de mis docentes y amigos.

Un agradecimiento especial a mi asesor; al Ing., Zenón Crispín Quispe Mamani por apoyarme y haber sido luz y guía en esta tesis; al Dr. Jean Noël Martínez Trouvé, por haber sido él el causante de apasionarme en la ciencia y así de esta manera poder terminar este trabajo de investigación.

A mi fiel amigo José Luis Alcántara Membrillo por su apoyo desinteresado en las labores de campo las cuales han servido para el desarrollo de esta tesis.

Agradezco a toda mi familia, a mi esposa, a mis amigos y a todos ustedes porque gracias a su colaboración he podido culminar este trabajo.

RESUMEN

En el marco de la presente tesis se han determinado los factores que intervinieron en el proceso de su formación, definiendo las unidades bioestratigráficas presentes de la Formación Chulec, lo cual nos dará las características del medio ambiente marino en el cual se desarrollaron las diferentes secuencias estratigráficas y faunísticas, detallando un registro paleontológico en esta Formación. Así mismo, se ha logrado determinar un control bioestratigráfico mediante cuadros estadísticos para las secuencias faunísticas presentes en la dispersión bioestratigráfica de la Formación Chulec y de esta manera poder tener una idea clara sobre sus procesos de formación y evolución.

ABSTRACT

In the framework of this thesis have been determined the factors involved in the process of their formation, defining the present biostratigraphic units Chulec Training, which will give us the characteristics of the marine environment in which they developed different stratigraphic sequences and fauna, detailing paleontological record in this training. Also, it has been determined biostratigraphic control by statistical tables for sequences present in the dispersion faunal Training biostratigraphic Chulec and thus to have a clear idea about its formation and evolution processes.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	xxvi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	27
1.1 Planteamiento del problema.	27
1.1.1 Definición.	27
1.1.2 Formulación del Problema.	27
1.2 Justificación.	28
1.3 Objetivos.	28
1.3.1 Objetivo general.	28
1.3.2 Objetivos específicos.	28
1.3.3 Objetivo académico.	28
1.4 Alcances.	29
1.5 Antecedentes.	29
1.6 Características Locales.	29

	Pág.
1.7	Formulación de la Hipótesis. 30
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.	31
2.1	Antecedentes y trabajos previos. 31
2.2	Marco conceptual. 33
2.2.1	Introducción. 33
2.2.2	Bioestratigrafía. 34
2.2.3	Desarrollo histórico de la Bioestratigrafía. 35
2.3	Bases teóricas. 35
2.3.1	Principio de la superposición de los estratos. 35
2.3.1.1	Aplicaciones del principio de la superposición de los estratos. 37
2.3.2	Principio de la sucesión faunística. 38
2.3.3	Concepto de piso. 41
2.3.4	Concepto de zona. 41
2.4	Bases para la zonación bioestratigráfica, cambios en los organismos a través del tiempo. 42
2.4.1	La Evolución. 42
2.4.2	Clasificación taxonómica e importancia de las especies. 43
2.4.3	Cambios de las especies a través del tiempo. 44
2.4.4	Modelos y tasas de evolución. 47
A.	Gradualismo. 47
B.	Equilibrio Puntuado. 47
2.4.5	Evolución determinística versus probabilística. 50

	Pág.	
2.4.6	Distribución de los organismos en el espacio paleobiogeográfico.	50
2.4.7	Dispersión de organismos.	51
2.4.8	Barreras de dispersión.	53
2.4.9	Temperatura.	54
2.4.10	Barreras geográficas.	55
2.4.11	Cambios en el nivel del mar.	55
2.5	Efectos combinados de la distribución de los organismos en el tiempo y en el espacio.	56
2.6	Biocorrelación.	58
2.6.1	Correlación por zonas de conjunto.	59
2.6.2	Correlación por zonas de abundancia.	61
2.7	Cronocorrelación por fósiles.	62
2.8	Correlación por zonas.	62
A.	Zonas de extensión de taxón.	63
B.	Otras zonas de intervalo.	63
2.9	Correlación por zonas de abundancia biogeográficas.	65
2.10	Rocas sedimentarias carbonatadas.	67
2.11	Clasificación de las rocas carbonatadas.	67
2.11.1	Clasificación según Folk (1959-1962).	68
2.11.2	Clasificación según Dunham (1962).	69
2.12	Estructuras sedimentarias.	70
a.	Marcas ondulatorias o de corriente.	70

	Pág.
b. Marcas físicas en el techo.	70
c. Formaciones de carga.	70
2.12.1 Tipos de estratificación.	70
2.12.1.1 Geometría de los estratos.	71
a. Estratos tabulares.	71
b. Estratos irregulares, con muro erosivo.	71
c. Estratos acanalados.	71
d. Estratos en forma de cuña.	71
e. Estratos ondulados.	71
2.12.2 Asociación de los estratos.	72
a. Uniforme.	72
b. Aleatorio o de espesor variable.	72
c. Estrato creciente.	73
d. Estrato decreciente.	73
e. En haces.	73
2.12.3 Medida de la estratificación.	74
2.13 Paleontología y concepto de fósil.	75
2.13.1 Fosilización.	75
2.13.2 Tafonomía.	76
2.13.2.1 Necrobiosis.	76
2.13.2.2 Bioestratinomía.	77
2.13.2.3 Fosildiagénesis.	77

	Pág.
2.14 Fílum Mollusca.	78
2.14.1 Introducción.	78
2.14.2 Sistemática.	79
2.14.3 Clase Bivalvia.	80
2.14.3.1 Introducción.	80
2.14.3.2 Morfología.	80
2.14.3.2.1 Características Externas.	82
2.14.3.2.2 Características Internas.	83
2.14.3.2.3 Charnela.	84
2.14.3.3 Orientación de las valvas.	86
2.14.3.4 Ecología y Paleoecología.	87
2.14.3.4.1 Formas de vida y hábitats.	88
2.14.3.5 Sistemática.	89
2.14.3.5.1 Subclase Paleotaxodonta.	90
2.14.3.5.2 Subclase Isofilibranchia.	90
2.14.3.5.3 Subclase Heteroconchia.	91
2.14.3.5.4 Subclase Pteriomorphia.	92
2.14.3.5.5 Subclase Anomalodesmata.	92
2.15.4 Clase Gastropoda.	94
2.15.4.1 Introducción.	94
2.15.4.2 Morfología.	95
2.15.4.3 Orientación de la concha.	96

	Pág.
2.15.4.4 Características externas.	97
2.15.4.5 Líneas de crecimiento y ornamentación.	99
2.15.4.6 Otras estructuras.	101
2.15.4.7 Sistemática.	102
2.15.4.7.1 Subclase Prosobranchia.	102
2.15.4.7.2 Subclase Opisthobranchia.	103
2.15.4.7.3 Subclase Pulmonata.	103
2.15.4.8 Ecología y Paleoecología.	106
2.15.5. Clase Cephalópoda.	106
2.15.5.1 Introducción.	106
2.15.5.2 Morfología.	107
2.15.5.2.1 Forma de la concha.	107
2.15.5.3 Sistemática.	109
2.15.5.3.1 Subclase Orthoceratoidea.	109
2.15.5.3.2 Subclase Nautilodea.	110
2.15.5.3.3 Subclase Ammonoidea.	110
2.15.5.3.4 Subclase Coleoidea.	112
2.15.5.3.5 Subclase Endoceratoidea.	112
2.15.5.3.6 Subclase Actinoceratoidea.	112
2.15.5.3.7 Subclase Bactritoidea.	113
2.15.5.4 Ecología y Paleoecología.	114
2.16 Fílum Echinodermata.	114

	Pág.	
2.16.1	Introducción.	114
2.16.2	Morfología.	115
2.16.3	Sistemática.	116
A.	Subfilum Echinozoa.	116
	Clase Equinoidea.	116
	Clase Holothuroidea.	116
	Clase Edrioasteroidea.	106
B.	Subfilum Asterozoa.	117
C.	Subfilum Crinozoa	117
	Clase Crinoidea	117
D.	Subfilum Blastozoa	117
	Clase Diploporita y Rhombífera	117
	Clase Blastoidea	117
	Clase Eocrinoidea	117
E.	Subfilum Homalozoa	117
 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO.		 118
3.1	Identificación y clasificación de variables.	118
3.1.1	Variables independientes.	118
3.1.2	Variables dependientes.	118
3.2	Operacionalización de variables.	120

	Pág.	
3.3	Tipificación de la investigación.	122
3.3.1	Según el tipo de conocimientos previos usados.	122
3.3.2	Según el tipo de pregunta planteada en el problema.	122
3.3.3	Según el propósito de la investigación.	122
3.3.4	Según su alcance temporal.	123
3.4	Unidad de análisis, población y muestra.	123
3.4.1	Unidad de análisis.	123
3.4.2	Población.	123
3.4.3	Muestra.	123
3.5	Instrumentos de recolección.	124
3.6	Procedimiento de trabajo.	125
3.6.1	Etapas preliminares.	126
3.6.1.1	Revisión bibliográfica.	126
3.6.1.2	Planteamiento en gabinete.	126
3.6.2	Trabajo de campo.	126
3.6.2.1	Trabajo de campo propiamente dicho.	126
3.6.3	Trabajo de gabinete.	127
3.6.3.1	Trabajo de gabinete propiamente dicho.	127
A.	Trabajo analítico.	127
B.	Trabajo estadístico.	127
3.6.3.2	Elaboración de la tesis de investigación.	128
3.7	Equipos y materiales.	128

	Pág.	
3.7.1	Equipo para campo.	128
3.7.2	Materiales para campo.	129
3.7.3	Equipo para gabinete.	129
3.7.4	Materiales para gabinete.	129
3.8	Recurso humano y Soporte Técnico.	130
3.8.1	Recurso Humano.	130
3.8.2	Soporte Tecnológico.	130
 CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO		 131
4.1	Ubicación.	131
4.2	Accesibilidad.	132
4.3	Fisiografía.	133
4.4	Clima y vegetación.	133
4.1	Clima.	133
a.	Temperaturas.	134
b.	Precipitación.	134
c.	Meses de lluvia.	134
4.2	Vegetación.	136
 CAPÍTULO V: CONDICIONES MORFOLÓGICAS.		 137
5.1	Procesos exógenos.	140

	Pág.	
5.2	Procesos endógenos	140
5.3	Ciclo geomorfológico.	140
5.3.1	Relieve joven.	141
5.3.2	Relieve maduro.	141
5.3.3	Relieve senil.	141
5.4	Unidades geológicas.	141
5.4.1	Montañas	141
5.4.1.1	Ladera de Montaña espinada	141
5.4.1.2	Ladera de Montaña fuertemente empinada	142
5.4.3	Colinas.	142
5.4.3.1	Colinas bajas fuertemente inclinadas.	142
5.4.4	Terrazas.	142
5.4.4.1	Piedemonte aluvio-fluviales.	142
5.4.5	Karst.	143

CAPÍTULO VI: UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS. 144

6.1	Estratigrafía.	144
6.2	Secuencia transgresiva.	144
6.2.1	Formación Inca.	144
6.2.1.1	Edad, ambiente deposicional y potencia.	145
6.2.2	Grupo Crisnejas.	146

	Pág.
6.2.2.1 Formación Chulec.	146
6.2.2.1.2 Edad, ambiente deposicional y potencia.	146
6.2.2.2 Formación Pariatambo.	147
6.2.2.2.1 Edad, ambiente deposicional y potencia.	148
6.3 Depósitos Cuaternarios.	148
6.3.1 Depósitos Lagunares.	148
6.3.2 Depósitos Aluviales-fluviales.	149
CAPÍTULO VII: PALEONTOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACION CHULEC	150
7.1 Características paleontológicas.	150
7.1.1 Fílum Mollusca.	150
7.1.1.1 Clase Bivalvia.	150
7.1.1.1.2 Características Morfológicas y Morfométricas.	151
7.1.1.1.3 Registro Fosilífero de la Clase Bivalvia.	152
7.1.1.2 Clase Gastrópoda.	154
7.1.1.2.1 Características Morfológicas y Morfométricas	154
7.1.1.2.2 Registro Fosilífero de la Clase Gastrópoda.	155
7.1.1.3 Clase Cephalópoda.	156
7.1.1.3.1 Características Morfológicas y Morfométricas.	156
7.1.1.3.2 Registro Fosilífero de la Clase Cephalópoda.	157
7.1.2 Fílum Echinodermata.	158
7.1.2.1 Características morfológicas y morfométricas.	158
7.1.2.2 Registro Fosilífero del Fílum Echinodermata.	158

7.2	Características bioestratigráficas.	159
7.2.1	Biozonas.	160
CAPÍTULO VIII: DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA		162
8.1	Calizas arenosas.	162
8.2	Calizas.	162
8.3	Lutitas Calcáreas.	162
8.4	Margas Nodulares.	163
8.5	Margas Bioturbadas.	163
CAPÍTULO IX: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		164
9.1	Resultado de la Investigación.	164
9.1.1	Clasificación del registro Fósil.	164
9.2	Tratamiento Estadístico para el control bioestratigráfico de las Secuencias Faunísticas en la dispersión estratigráfica.	169
9.3	Características del ambiente marino en la Formación Chulec.	174
9.4	Interpretación de Resultados.	174
9.5	Conclusiones.	176
9.6	Recomendaciones.	177
9.7	Bibliografía.	178
9.8	Anexos.	180

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N°1: Duración media estimada de las especies (en M.a) para Una variedad de grupos biológicos. Fuente: S. Boggs (2006).	48
Tabla N°2: Clasificación de Organismos por Hábitat o estilos de vida. Fuente: S. Boggs (2006).	52
Tabla N°3: Identificación y Clasificación de Variables. Fuente: Propia (2013).	119
Tabla N°4: Operacionalización de Variables. Fuente: Propia (2013).	121
Tabla N°5: Coordenadas UTM de la zona de estudio (DATUM WGS-84) Fuente: Propia (2013).	132
Tabla N°6: Accesibilidad a la zona de estudio. Fuente: Propia (2013).	132
Tabla N°7: Temperaturas de la zona de estudio. Fuente: SENAMHI (2012).	134
Tabla N°8: Precipitaciones de la zona de estudio. Fuente: SENAMHI (2012).	134
Tabla N°9: Registro Bioestratigráfico para la Formación Chulec. Fuente: Propia (2013).	158
Tabla N°10: Datos para el Control Bioestratigráfico mediante cuadros Estadísticos. Fuente: Propia (2013).	168

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Foto N° 01: Fisiografía de la parte baja de la zona de estudio, con pendientes moderadas a altas; las cuales fluctúan entre los 35° y 60°. Fuente: Archivo Fotográfico Propio (2013).	133
Foto N° 02: Fisiografía de la parte Superior en las cercanías a Santa Úrsula. se observan pendientes suaves las cuales fluctúan entre los 10° a 15°. Fuente: Archivo Fotográfico Propio (2013).	133
Foto N° 03: Flora existente en la zona de estudio, presencia de Eucaliptos dominan el paisaje así como las tierras de Cultivo. Fuente: Archivo Fotográfico Propio (2013).	136
Foto N° 04: Vegetación representativa de la parte alta de la zona de estudio. Eucaliptos y cultivo de Chocho. Fuente: A.F.P (2014).	136
Foto N° 05: Drenaje ocasionado por la fuerte erosión en el material carbonatado de la Formación Chulec. Fuente: A.F.P (2013).	140
Foto N° 06: Estratos de la Formación Inca; nótese las intercalaciones de las areniscas calcáreas con las lutitas Ferruginosas. Fuente: A.F.P (2012).	142
Foto N° 07: Estratos de la Formación Chulec, Obsérvese la alternancia litológica entre los bancos de calizas, lutitas calcáreas y margas nodulares. Fuente: A.F.P (2013).	144
Foto N° 08: Contacto litológico (Zona transicional entre la Formación Chulec y la Formación Pariatambo), al NE se puede apreciar el piso de la Formación Pariatambo con bancos de calizas nodulares menos potentes. Fuente: A.F.P (2013).	145
Foto N° 09: Material Cuaternario Holocénico en las inmediaciones del Centro poblado de Santa Úrsula. Fuente: A.F.P (2013).	146
Foto N° 10: Vista Frontal de una Cucullaea sp. Fuente: A.F.P (2013).	149
Foto N° 11: Vista Frontal de una Cucullaea sp. Fuente: A.F.P (2013).	149
Foto N° 12: Vista de la Valva anterior de una Cucullaea sp. Fuente: A.F.P (2013).	150

Foto N° 13:	Vista posterior de una Arca sp. Fuente: A.F.P (2013).	150
Foto N° 14:	Vista Frontal de un Tylostoma sp. Fuente: A.F.P (2013).	152
Foto N° 15:	Vista de Perfil de un Tylostoma sp. Fuente: A.F.P (2013).	152
Foto N° 16:	Vista de Perfil de un Knemiceras attenuatum HYATT. Fuente: A.F.P (2013).	154
Foto N° 17:	Vista Frontal de un fragmento de Cyphosoma Texanum ROEMER. Fuente: A.F.P (2013).	

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1: Esquema de la recolección de datos. Fuente: Propia.	124
Cuadro 2: Procedimiento de trabajo. Fuente: Propia.	125

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°1: Principio de la sucesión de estratos aplicados a la ley de sucesión Faunística. Fuente: W. Griem (2006).	38
Figura N°2: Ley o principio de la sucesión faunística desarrollada por W. Smith en 1796. Fuente: John Milley & Stones Inc. (2006).	40
Figura N°3: Diagrama realizado por Ch. Darwin en el origen de las especies. Fuente: Ch. Darwin (1859).	43
Figura N°4: Sistema taxonómico para clasificación de organismos. Fuente: C. Linnaeus (1735).	44
Figura N°5: Grupo de macrofósiles de invertebrados marinos masivos para la zonación bioestratigráfica. Fuente: S. Boggs (1995).	46
Figura N°6: Esquema diagramático de filogenias hipotéticas, representando el modelo puntuacional (a) y el modelo gradualístico (b). Fuente: S. Boggs (2006).	47
Figura N°7: Subdivisiones del ambiente marino en los dominios pelágicos y bénticos. Fuente: S. Boggs (1995).	51
Figura N°8: Diagrama ilustrando la diferencia en la extensión local y total de una especie hipotética. Fuente: S. Boggs (2006).	58
Figura N°09: Diagrama general que ilustra el principio de correlación por zonas de conjunto. (Moore - 1952). Fuente: S. Boggs (2006).	59
Figura N°10: Sección estratigráfica hipotética ilustrando el gran número de taxa fósiles que pueden involucrarse en la correlación por zonas de conjunto. (Hazel - 1977). Fuente: S. Boggs. (2006).	60
Figura N°11: Diagrama esquemático ilustrando porque la correlación por zonas de abundancia (acme) no puede producir una correlación real de tiempo. Fuente: S. Boggs (2006).	61
Figura N°12: Correlación entre dos secciones hipotéticas con base en zona de intervalo. Fuente: S. Boggs (2006).	64
Figura N°13: Uso de las zonas de abundancia biogeográficas como un medio de correlación de tiempo. Fuente: S. Boggs (2006).	66

	Pág.
Figura N°14: Correlación por zonas de abundancia biogeográficas basadas en las relaciones de enrollamiento de foraminíferos. Fuente: S. Boggs (2006).	67
Figura N°15: Clasificación de las rocas carbonatadas. Fuente: Folk (1962).	69
Figura N°16: Clasificación de las rocas carbonatadas. Fuente: Dunham (1962).	69
Figura N°17: Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor. Fuente: Vera Torres (1994).	72
Figura N°18: Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de espesores y de las litologías presentes. Fuente: Vera Torres (1994).	73
Figura N°19: Diagrama de la medición de espesores por medio del bastón de Jacob. Fuente: Crompton (1983).	74
Figura N°20: Medición de estratos inclinados a partir de un levantamiento hecho con brújula y cinta. Fuente: Krumbein & Sloss (1969).	75
Figura N°21: Fílum Mollusca. Fuente: R. Domènech (1996).	79
Figura N°22: Morfología general de los bivalvos. Fuente: J. Martinell (1996).	81
Figura N°23: Planos de simetría de los bivalvos. Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).	81
Figura N°24: Características externas de los bivalvos. Fuente: R. Domènech (1996).	83
Figura N°25: Características internas de los bivalvos. Fuente: J. Martinell (1996).	84
Figura N°26: Charnela de los bivalvos. Fuente: J. Martinell (1996).	86
Figura N°27: Hábitats de los bivalvos. Fuente: R. Domènech (1996).	88
Figura N°28: Sistemática de la clase Bivalvia. Fuente: J. Martinell (1996).	89
Figura N°29: Subclases de la clase Bivalvia. Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).	93
Figura N°30: Subclases de la clase Bivalvia. Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).	94

	Pág.
Figura N°31: Morfología de los Gasterópodos. Fuente: R. Domènech & J. Martinell (1996).	96
Figura N°32: Tipos de protoconcha de los Gasterópodos. Fuente: R. Domènech (1996).	98
Figura N°33: Características externas de los Gasterópodos. Fuente: R. Domènech (1996).	98
Figura N°34: Líneas de crecimiento de los Gasterópodos. Fuente: J. Martinell (1996).	99
Figura N°35: Principales ornamentaciones de los Gasterópodos. Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).	100
Figura N°36: Otras estructuras de los Gasterópodos. Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).	101
Figura N°37: Sistemática de los Gasterópodos. Fuente: J. Martinell (1996).	102
Figura N°38: Subclases de la clase Gasterópoda. Fuente: J. Martinell (1996).	104
Figura N°39: Morfología general de un Cephalópodo. Fuente: R. Domènech (1996).	107
Figura N°40: Tipos de formas de las conchas de los Cephalópodos. Fuente: R. Domènech (1996).	107
Figura N°41: Sistemática de la clase Cephalópoda. Fuente: R. Domènech (1996).	108
Figura N°42: Morfología general de un Ortocerátido. Fuente: J. Martinell (1996).	109
Figura N°43: Morfología general de los ammonoideos. Fuente: R. Domènech & J. Martinell (1996).	111
Figura N°44: Tipos de ornamentación de los ammonoideos. Fuente: R. Domènech & J. Martinell (1996).	111
Figura N°45: Principales líneas de sutura de los ammonoideos. Fuente: R. Domènech & J. Martinell (1996).	111
Figura N°46: Subclase Coleoidea. Fuente: R. Domènech (1996).	112
Figura N°47: Subclase Coleoidea. Fuente: R. Domènech (1996).	113

	Pág.
Figura N°48: Hábitat y forma de algunos miembros del Fílum Echinodermata. Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).	115
Figura N°49: Morfología del Fílum Echinodermata. Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).	116
Figura N°50: Sistemática del Fílum Echinodermata. Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).	117
Figura N°51: Ubicación y acceso a la zona de estudio. Fuente: Propia (2012).	131
Figura N°52: Distribución de las temperaturas mínimas. Fuente: SENAMHI (2012).	135
Figura N°53: Distribución de las temperaturas máximas. Fuente: SENAMHI (2012).	135
Figura N°54: Tipificación de las Unidades Bioestratigráficas para la Formación Chulec. Fuente: Propia (2012).	156
Figura N°55: Creación del registro de Biozonas mediante una tabla en Excel. Fuente: Propia (2012).	162
Figura N°56: Creación del Inventario de Fósiles catalogados en campo Mediante una tabla de Excel. Fuente: Propia (2012).	163
Figura N°57: Creación del Inventario de Fósiles catalogados en Gabinete Mediante una tabla en Excel. Fuente: Propia (2012).	164
Figura N°58: Creación del Inventario de Fósiles catalogados en gabinete Mediante una tabla en el programa PAST. Fuente: (2012).	165
Figura N°59: Curva de la Diversidad vs. Población de especies. Fuente: Propia (2012).	169
Figura N°60: Curva de la Diversidad en la Formación Chulec. Fuente: Propia (2012).	170
Figura N°61: Curva de Supervivencia en las especies presentes en la Formación Chulec. Fuente: Propia (2012).	171

INTRODUCCIÓN.

La presente tesis profesional, ha sido realizada en base a los afloramientos lito-bioestratigráficas de la Formación Chulec, perteneciente al Cretáceo Inferior; abarcando un área de aproximadamente 13.5 Km². El estudio se llevó a cabo en el flanco izquierdo del sinclinal de Puyllucana, lugar propicio en donde aflora la Formación Chulec denotando una secuencia intercalada de rocas carbonatadas y detríticas con abundancia de restos fósiles; cuya edad de la Formación la fluctúan entre los ± 112 M.a y ± 99.6 M.a aproximadamente.

La tesis de investigación se encuentra orientada al estudio bioestratigráfico de la Formación Chulec, desarrollando para ello en primer lugar un recartografiado de dicha Formación a una escala local de 1: 12500 para luego partir hacia un desarrollo en las manifestaciones estratigráficas y paleontológicas. Los análisis geomorfológicos, topográficos, litológicos, estratigráficos y petrográficos; nos han servido como herramientas para comprender los procesos estratigráficos y bioestratigráficos que se suscitaron en el área de estudio; así como su relación con el resto de fenómenos geológicos acontecidos en ésta.

El estudio fue realizado, bajo previa revisión en gabinete de la data obtenida de los antecedentes y/o trabajos afines realizados, de la ubicación geopolítica y geográfica; así como de las labores de campo propiamente dichas. Del mismo modo se realizó el cartografiado a detalle de los contactos bioestratigráficos presentes en la zona, la construcción de una columna estratigráfica y otra bioestratigráfica así como de la confección de cortes y perfiles geológicos. Para luego realizar una interpretación de los procesos acontecidos en el área de estudio.

Finalmente, con esto se espera que esta tesis sirva de herramienta y guía para las futuras generaciones de geólogos dedicados a la investigación científica en lo que compete a esta área de la Bioestratigrafía.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 DEFINICIÓN

El problema de esta investigación radica en establecer de manera metódica la bioestratigrafía de la Formación Chulec; la cual aún no ha sido estudiada al detalle.

1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo ha sido la evolución litoestratigráfica de la Formación Chulec y de qué forma han intervenido los organismos que la habitaron en los procesos de su formación?

¿Cómo ha sido el desarrollo Faunístico en la Formación Chulec y que características bioestratigráficas presenta la Formación Chulec como para poder determinar el tipo de ambiente?

¿Qué secuencias sedimentarias presenta la Formación Chulec en base al análisis de los Fósiles estudiados?

1.2 JUSTIFICACIÓN

En nuestro país existen muy pocos estudios bioestratigráficos sobre las secuencias carbonatadas del Cretáceo inferior y superior, por lo que es necesario el realizar o replantear ciertas investigaciones hechas anteriormente en Bioestratigrafía; teniendo como soporte las nuevas tecnologías y modelos lito-bioestratigráficos con los que se trabaja hoy en el mundo actual. Por tanto; este trabajo pretende servir como base para futuros trabajos de investigación científica y/o exploración geológica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

- Realizar el estudio Bioestratigráfico de la Formación Chulec.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Realizar el cartografiado a escala local de la Formación Chulec en la zona de Puyllucana – Santa Úrsula.
- Determinar las unidades bioestratigráficas de la Formación Chulec en la zona de Puyllucana – Santa Úrsula.
- Elaborar perfiles y secciones estratigráficas de la Formación Chulec en la zona de Puyllucana – Santa Úrsula.
- Clasificar el registro de fósiles de la Formación Chulec en la zona de Puyllucana – Santa Úrsula.
- Realizar una columna bioestratigráfica de la Formación Chulec en la zona de Puyllucana – Santa Úrsula.
- Determinar las características del ambiente marino en la Formación Chulec.
- Plantear un control bioestratigráfico mediante cuadros estadísticos para las secuencias faunísticas en la dispersión estratigráfica de la Formación Chulec en la zona de Puyllucana – Santa Úrsula.
- Realizar las interpretaciones lito-bioestratigráficas de las secuencias en la Formación Chulec en la zona de Puyllucana – Santa Úrsula.

1.3.3 ACADÉMICO

- Obtener el título profesional de ingeniero geólogo.

1.4 ALCANCES

La presente Tesis de investigación es descriptiva – explicativa y se la realiza con la finalidad de estudiar la bioestratigrafía de la Formación Chulec; comprendiendo el desarrollo de ésta y logrando determinar los factores que intervinieron en el proceso de su formación; así como las diversas unidades bioestratigráficas presentes en la Formación Chulec. También se detalla un registro paleontológico en esta Formación

mediante el cual sirve para determinar un control bioestratigráfico mediante cuadros estadísticos para las secuencias faunísticas presentes en la dispersión estratigráfica de la Formación Chulec.

1.5 ANTECEDENTES

En la zona de estudio y en sus alrededores no se han realizado estudios bioestratigráficos, aunque si se han trabajado proyectos por parte de la Universidad Nacional de Cajamarca, así como algunas Tesis de investigación relacionadas a las áreas de estratigrafía, sedimentología y al análisis de cuencas.

1.6 CARACTERÍSTICAS LOCALES

En la zona de estudio afloran estratos de la Formación Inca, Formación Chulec y la Formación Pariatambo, los cuales son de edad Cretácica. De lo cual para la realización de este estudio sólo se tomó la Formación Chulec y los contactos litológicos entre el techo de la Formación Inca y el piso de la Formación Chulec; el techo de la Formación Chulec y el Piso de la Formación Pariatambo. Por lo demás, esta zona se caracteriza por un clima con una estación seca que va de mayo a octubre, en la que abundan los días cálidos y soleados y otra lluviosa entre noviembre y abril.

1.7 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La Formación Chulec al igual que el resto de Formaciones del Período Cretáceo; debería revelar un sistema bioestratigráfico único, el cual se habría desarrollado a lo largo de todo su proceso de formación. Esto marcaría el inicio de una gran profusión de la vida marina a escala global bajo condiciones en las que el mar desarrollaba un sistema de transgresiones haciendo que éstas dieran lugar a los distintos cambios de facies. Por lo tanto apoyándonos en el conocimiento taxonómico de los fósiles, trataremos de establecer una filogenia para luego definir las relaciones evolutivas de los fósiles con el objetivo de que toda la información estratigráfica, paleo ecológica, taxonómica y biogeográfica resulten herramientas precisas para la determinación bioestratigráfica presente en la Formación Chulec.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS

La zona de estudio no cuenta con estudios bioestratigráficos; sin embargo otras localidades tipo, aflorantes de la Formación Chulec, si han sido estudiadas; siendo algunas de ellas al detalle (desde los años 2011 hacia adelante aproximadamente). A continuación se presentan algunos estudios entre ellos los más resaltantes y de interés al tema en investigación:

LAGOS A; QUISPE Z (2007). Trabajo de investigación acerca de los “Aportes al análisis de cuencas sedimentarias en los alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca” XIII Congreso Peruano de Geología. Trabajo que trata sobre el comportamiento de la Cuenca Occidental, en el proceso de relleno sedimentario desde el Berriasiano - Valanginiano (Cretáceo Inferior) hasta el Santoniano - Campaniano (Cretáceo Superior).

CHUQUIRUNA, W (2009). Tesis Profesional “Caracterización Estratigráfica y Estructural de la Sub cuenca Chonta – Cajamarca; mediante Aplicaciones SIG.”, se describe la tectónica en la zona.

FERNANDEZ, H (2010). Tesis Profesional “Estudio Sedimentológico y Estratigráfico en el Área de Cruz Blanca y Alrededores”. Realiza la descripción detallada del Cretáceo Inferior.

MAYTA, R (2011). Tesis Profesional “Caracterización Geológica de los Karst en Rocas Carbonatadas (Cajamarca-Encañada)”, realiza un análisis estadístico de la presencia de exokarts y endokarts.

QUISPE, Z (2011). Realiza un "estudio sedimentológico y estratigráfico de la Formación Inca Baños del Inca y alrededores de la cuenca de Cajamarca". Trabajo que destaca la evolución estratigráfica y sedimentológica de dicha Formación.

En cuanto al estudio de la Formación Chulec por otros autores, se tienen:

MC LAUGHLIN (1925). "Notas sobre la geología y fisiografía de los Andes Peruanos en los departamentos de Lima y Junín" (Trad.G.D.Zevallos). Inf. Mem. Soc. Ing.Perú, vol. 27. Determina la Formación Chulec y la estudia por primera vez en los andes centrales del país.

TAFUR, I. (1950). Nota Preliminar sobre la Geología de Cajamarca. Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Marcos. Lima. Describe las correlaciones estratigráficas y las ubica en el tiempo geológico.

KUMMEL B. (1950). "Stratigraphic studies in Northern Perú". Amer. Journ. Sci. Vol. 248. Estudia y describe las disposiciones estratigráficas en la parte norte del Perú.

V.BENAVIDES – CÁCERES (1956). Quienes realizan un boletín bajo el título de "Cretaceous System in Northern Perú." Bulletin of the American Museum of Natural History. Volume 108: article 4; New York. Describen los procesos y las disposiciones estratigráficas teniendo en cuenta la concurrencia de fósiles Guía.

WILSON J.J (1963). "Cretaceous Stratigraphy of Central Perú"; Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. Vol. 47 N°1. Desarrolla y describe la disposición estratigráfica en la parte central del Perú.

INGEMMET Boletín N° 31, (1980), Cuadrángulo de Cajamarca - San Marcos – Cajabamba. Analizan regionalmente el área de estudio, considerando la existencia del cartografiado a escala 1:100,000 realizado por geólogos del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú. Quienes definieron la presencia de grandes Unidades geológicas como el Mesozoico y Cenozoico.

JAILLARD, ORSTOM (1990). Evolución de la Margen Andina en el Norte del Perú

desde el Aptiano Superior hasta el Senoniano. Desarrollan, describen y definen los procesos evolutivos de las formaciones aflorantes en la parte Norte del Perú.

JAILLARD E.; PEYBERNÈS B.; ROBERT E. & BULOT L.G. (2002). “Transgresión Albiana en la Cuenca Andina (Perú Central - Ecuador): Modelo General y Diacronismo de los Depósitos Marinos”. Bol. Soc. Geo. Del Perú. Esta investigación toma como base los nuevos datos bioestratigráficos, realizando un estudio banco por banco de la litología sugiriendo una interpretación paleoambiental general de todas las Formaciones.

En cuanto al registro fósil sólo se tiene uno, el cual se ha desarrollado de forma general para todas las Formaciones y Grupos presentes denominado “Fauna y Flora del Perú” (INGEMMET). Romero L. (1995). En este Trabajo se indica de manera general y en algunos casos de forma errónea la filogenia de ciertas especies estudiadas en las diversas Formaciones del Perú.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 INTRODUCCION

Los fósiles proporcionan un método adicional y altamente útil para subdividir las rocas sedimentarias en unidades estratigráficas identificables. Ellos permiten ordenar y datar de una manera relativa los estratos y correlacionarlos a escala continental y global. La caracterización y correlación de unidades de roca con base en su contenido fósil se denomina bioestratigrafía. La separación de las unidades de roca con base en el contenido fósil puede o no producir unidades estratigráficas cuyos límites coincidan con los límites de las unidades litoestratigráficas. En efecto, las unidades litoestratigráficas tales como formaciones, se pueden subdividir por conjuntos de fósiles distintivos en varias unidades bioestratigráficas más pequeñas. Uno de los objetivos principales de la bioestratigrafía es hacer posible la diferenciación de estratos en pequeñas unidades de escala local o zonas que se puedan datar y correlacionar a lo largo de amplias áreas

geográficas, permitiendo la interpretación de la historia de la tierra dentro de un armazón preciso del tiempo geológico

2.2.2 BIOESTRATIGRAFÍA.

El término de Bioestratigrafía fue introducido por Dollo (1909-1910, en Preliminary report in Biostratigraphic units, Int. Subcom. On Strat. Class., Rep. n. 5, Canadá, 1971), y es él quien usa el término de Bioestratigrafía para referirse al establecimiento de la sucesión de fenómenos o sucesos paleontológicos habidos a lo largo de toda la Historia de la Tierra. [INMACULADA C.Z (1977, pag.615)].

El concepto de Bioestratigrafía se basa en el principio de que los organismos han experimentado cambios sucesivos a través del tiempo geológico. Por lo tanto, cualquier unidad de los estratos se puede fechar y se caracteriza por su contenido fósil. Es decir, sobre la base de su contenido fósil, cualquier unidad estratigráfica puede ser diferenciada de unidades estratigráficamente más jóvenes y mayores.

2.2.3 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA BIOESTRATIGRAFÍA

A finales del siglo XVIII, los geólogos todavía tenían una percepción confusa de las rocas que estudiaban. Steno había mostrado, en el siglo XVII, que las rocas se formaban con el tiempo, en capas horizontales que después se iban desgastando hasta exponer de nuevo la roca antigua. Aun así, para los geólogos era muy difícil reconstruir el orden original de las capas simplemente mediante la observación de la roca que perduraba. Todo eso comenzó a cambiar en 1800, gracias en gran parte a un desconocido perito de canales británico llamado William Smith.

Los geólogos utilizaron sus métodos para descubrir formaciones geológicas aún más antiguas que afloraban de forma difusa por toda Inglaterra. Mientras tanto, en el continente, Georges Cuvier y Alexandre Brongniart utilizaron esencialmente este mismo método para interpretar las rocas de los alrededores de París. Para los geólogos

se volvió incuestionable que la Tierra y la vida tenían muchos más que unos pocos miles de años. Sus mapas también permitieron organizar la historia de la vida en una serie de capítulos, desde el Cámbrico con sus extraños invertebrados, hasta los dinosaurios del Jurásico o los mamíferos de épocas más recientes. En cada etapa, la vida estaba formada por una colección única de especies. Exactamente, cómo habían cambiado de una etapa a la siguiente y eso era objeto de un intenso debate.

2.3 BASES TEÓRICAS

2.3.1 *PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN DE LOS ESTRATOS*

La ley de superposición de estratos o principio de superposición de estratos es un axioma clave basado en observaciones de la historia natural, y el principio fundacional de la estratigrafía sedimentaria y por lo mismo de otras ciencias naturales dependientes de la geología: Las capas de sedimento se depositan en una secuencia temporal, en el que las más antiguas se encuentran en posición inferior a las más recientes.

El principio fue propuesto inicialmente en el siglo XI por el geólogo persa Avicena y fue posteriormente reformulada de forma más clara en el siglo XVII por el científico danés Nicolás Steno. Asumiendo que todas las rocas y minerales fueron en algún momento fluidos, Nicolás Steno razonaba que los estratos rocosos se formaron cuando las partículas presentes en un fluido como el agua se depositaban en el fondo. Este proceso formaría capas horizontales. De ese modo el principio de originalidad horizontal de Steno establece que las capas de roca se forman en posición horizontal, y que cualquier desviación de esta disposición se debe a perturbaciones posteriores. Se dan excepciones a este caso porque los sedimentos se deben depositar en laderas o gradientes. Estas pueden tener una pendiente que localmente alcance varios grados. No obstante lo dicho, el principio es esencialmente verdadero. Steno estableció otro principio más general que dice lo siguiente: “Cuando un cuerpo sólido es rodeado por todos sus lados por otro cuerpo sólido, de los dos cuerpos que al final se convierten en uno por el mutuo contacto, la superficie de uno expresa las propiedades de la superficie

del otro.” [Nicolás Steno (1668) – “*De solido intra solidum naturaliter contentó dissertationis prodromus*”].

En otros términos: un objeto sólido hará que cualquier sólido que se forme a su alrededor se conforme con su propia forma.

Steno fue capaz de mostrar mediante este razonamiento que los fósiles y los cristales se debían haber solidificado antes de que la roca hospedadora que los contiene se hubiera formado. Los filones y muchos cristales se han formado después de que la roca se solidificara, porque frecuentemente muestran irregularidades de forma debidos a que han tenido que conformarse con la roca circundante.

Finalmente, en el caso de los estratos, las capas superiores de una serie de estratos suprayacen con la forma de los inferiores, y por lo mismo, en un conjunto de estratos, los niveles más recientes deben ser los superiores, mientras que los más antiguos serán los inferiores. Ya que los más antiguos fueron depositados primero están en el fondo y viceversa.

La ley de Steno asigna tiempos relativos, no absolutos: dos capas de roca, en principio, se han podido formar con diferencias de millones de años o días.

El principio de superposición se complementa con otros dos: principio de la horizontalidad inicial y el principio de la continuidad lateral de los estratos, según los cuales los estratos se depositan horizontalmente y tienen la misma edad en todos sus puntos. Los principios enunciados anteriormente tienen ciertas excepciones:

- a. En las series formadas en zonas de subducción el apilamiento se produce en la base y no en el techo de la serie, pero ello es debido a la fuerte deformación, aunque ésta ocurre a la vez que el depósito sedimentario.
- b. El principio de horizontalidad no se cumple en los bordes de cuenca sedimentaria con pendientes acusadas, como por ejemplo los taludes continentales.
- c. El principio de continuidad lateral no tiene en cuenta el hecho de que con frecuencia el medio sedimentario en el que se está formando un depósito se desplaza lateralmente, como en las transgresiones marinas o en la progradación de los deltas (ley de Walther). Por ello, muchas superficies sincrónicas cortan diferentes unidades sedimentarias. (BOGGS 2006).

2.3.1.1 *APLICACIONES DEL PRINCIPIO DE LA SUPERPOSICIÓN DE ESTRATOS*

El propio Steno no veía ninguna dificultad en atribuir la formación de muchas rocas al diluvio universal mencionado en la Biblia. No obstante se dio cuenta de que de los dos tipos principales de rocas en los Apeninos cerca de Florencia, Italia, las capas inferiores no tenían fósiles. Sugirió que las capas superiores se habían formado en el diluvio, tras la creación de la vida, mientras que las inferiores se habían formado antes de que la vida surgiera. Este fue el primer uso de la geología para intentar distinguir diferentes períodos en la historia de la tierra – un enfoque que se desarrollaría espectacularmente en el trabajo de los científicos posteriores. Las fallas inversas o de compresión eran desconocidas para Steno y sus contemporáneos y no fueron descritas hasta finales del siglo XIX por Peach and Horne en Knockan Crag, Escocia, en la falla invertida de Moine. Las fallas inversas pueden provocar confusión con la ley de superposición porque se pueden dar paralelas al lecho y pueden ser difíciles de detectar, de ese modo se dan situaciones donde, paradójicamente, los estratos más antiguos pueden situarse por encima de los más recientes (cabalgamientos). Cuando se combina con el principio de sucesión faunística, la ley de superposición proporciona una herramienta muy potente para datar la geología de las rocas y los estratos.

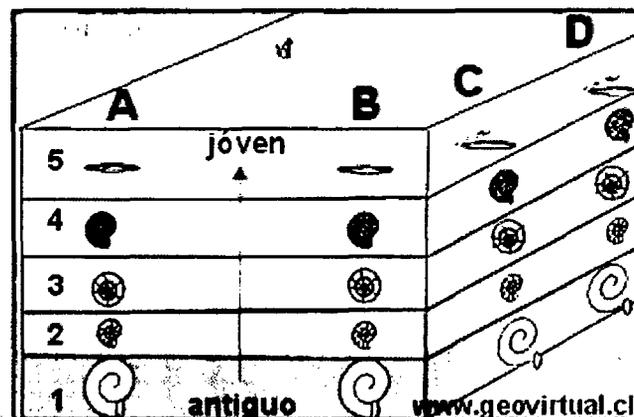


Figura N° 1: Principio de la superposición de estratos aplicados a la ley de sucesión faunística.
Fuente: W. Griem (2006).

2.3.2 *PRINCIPIO DE LA SUCESIÓN FAUNÍSTICA.*

William Smith en 1796 fue el primero en utilizar los fósiles como una herramienta práctica para caracterizar, subdividir y correlacionar estratos de un área a otra. El Principio (ley de sucesión faunística) se basa en que las rocas formadas durante cualquier intervalo de tiempo geológico se pueden reconocer y distinguir de otras rocas formadas durante otros intervalos de tiempo por su contenido fósil.

Aún sin asignarle nombres a los fósiles, Smith fue afortunado en usarlos para establecer una sucesión estratigráfica y para subdividir las rocas en unidades cartografiables por una combinación de características litológicas y de conjuntos fósiles.

Es importante resaltar que Smith no subdivide las sucesiones de roca solamente con base en los fósiles. Sus estratos primero se delinearon y nombraron de acuerdo a su litología. Luego, se colectaron y estudiaron sus características fósiles. El uso de sólo los fósiles para subdividir formaciones litológicamente homogéneas, no se dio sino hasta aproximadamente 15 años después.

La subdivisión de las sucesiones de roca en las que se tuvo en cuenta los fósiles, se llevó a cabo inicialmente en sedimentos Terciarios a principios de 1830. Deshayes en Francia (1830), Bronn en Alemania (1831) y Lyell en Inglaterra (1833). Por tanto es de comprender que: “la evolución biológica es un proceso irrepetible, ya que cada especie que ha vivido en el pasado durante un intervalo de tiempo nunca vuelve a aparecer.” Desarrollo de la sucesión biológica que realizó el geólogo William Smith que trabajo en Gales (1800) y que sostuvo que cada periodo de la historia de la tierra tiene su particular registro fósil con ello concluyó que los organismos habían sufrido cambios. [BOGGS. (2006), pag.480].

Estratigrafía

Datación relativa

La datación gracias al estudio de las disposiciones espaciales entre estructuras geológicas y a los fósiles

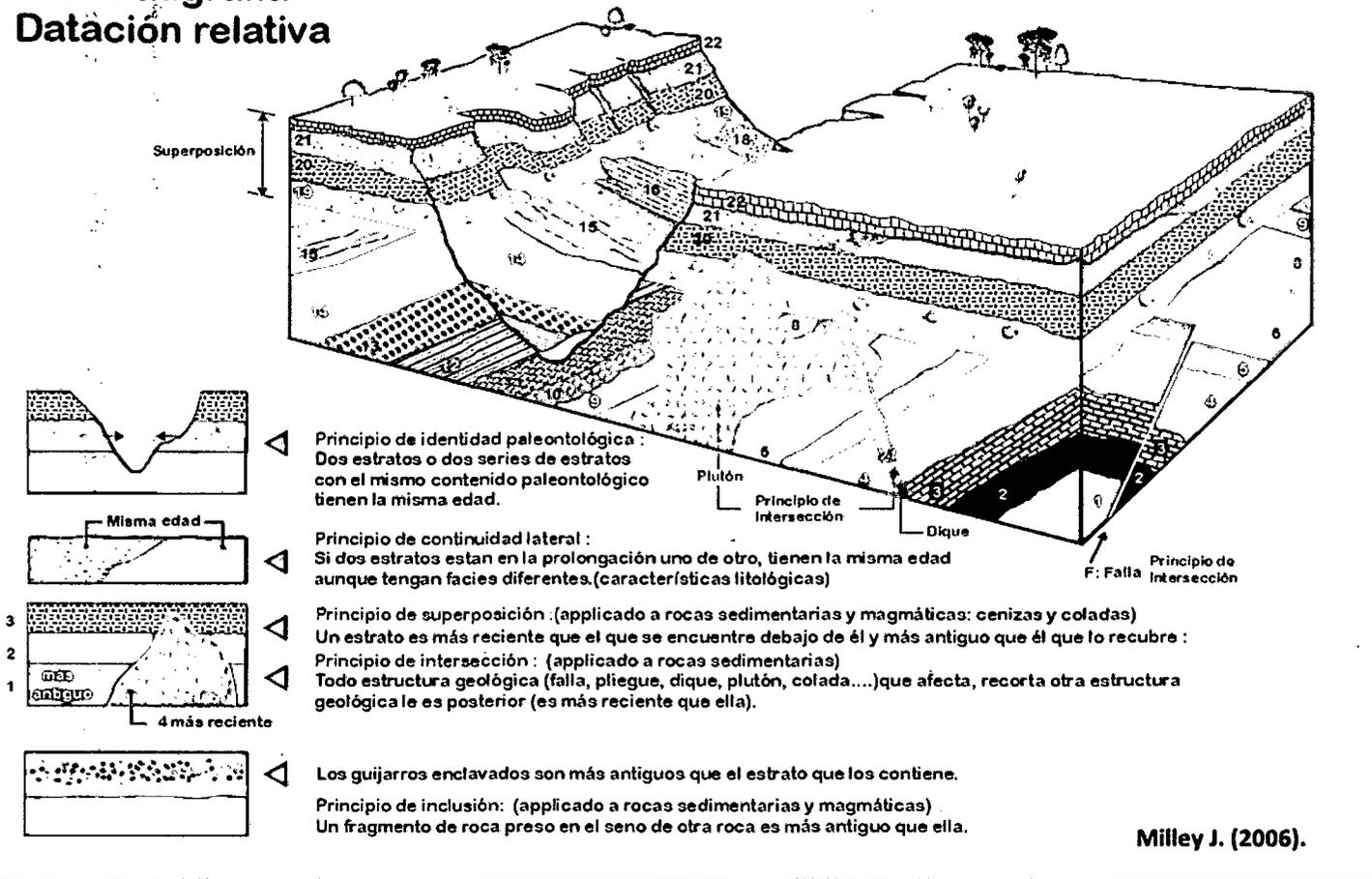


Figura N° 2: Ley o Principio de la sucesión faunística desarrollada por William Smith en 1796.
 Fuente: John Milley & Stones. Inc. (2006).

2.3.3 CONCEPTO DE PISO

D'Orbigny (en Boggs 1995) propuso que los estratos que se caracterizan por tener conjuntos de fósiles distintivos y únicos pueden incluir muchas formaciones (unidades litoestratigráficas) en un lugar o solamente una simple formación o parte de una formación en otro lugar. D'Orbigny definió como pisos los grupos de estratos que contienen el mismo conjunto de fósiles y nombró esos pisos en las localidades geográficas con buenas secciones de roca que tienen los fósiles característicos en los cuales se basaron los pisos. Usando el concepto de piso, él fue capaz de dividir las rocas del sistema Jurásico en 10 pisos y las rocas Cretáceas en 7 pisos, cada una caracterizada estrictamente por su fauna fósil.

Los límites de los pisos de Orbigny, se definieron a intervalos marcados por la última aparición o desaparición de conjuntos distintivos de formas de vida y su reemplazamiento en la roca registrado por otros conjuntos.

2.3.4 CONCEPTO DE ZONA

Oppel introdujo el concepto de zona en 1856 (en Boggs, 1995) y concibió la idea de unidades de escala pequeña definidas por los rangos estratigráficos de especies de fósiles, no importando la litología de las capas que tienen los fósiles. Notó que los rangos verticales de algunas especies eran muy cortos; porque las especies existieron en un muy corto tiempo geológico; mientras otras eran notablemente largas, pero muchos eran de alguna longitud intermedia.

Descubrió que podía delinear los límites entre unidades de roca de pequeña escala y distinguir una sucesión de conjuntos únicos de fósiles. Cada uno de esos conjuntos, estaba limitado en su base por la aparición de nuevas especies distintivas y en su tope (eso es la base de la sección subsiguiente), por la aparición de nuevas especies. Eso es la yuxtaposición de rangos estratigráficos de las especies que hacen que el conjunto de fósiles tipifique una zona.

Debido a que una zona representa el tiempo entre la aparición de especies escogidas con la base de la zona y la aparición de otras especies escogidas como la base de la próxima zona subsiguiente, el reconocimiento de estas zonas permite la delineación de unidades de tiempo de pequeña escala. A cada una le fue asignada después una especie fósil particular llamada un fósil índice o especie índice; la cual es una especie fósil en el conjunto de especies que caracterizan la zona.

El concepto de zona permitió la subdivisión de los pisos en dos o más unidades biostratigráficas distintivas que se podían reconocer y correlacionar grandes distancias. Opperl fue capaz de subdividir las rocas del Jurásico del oeste de Europa en 33 zonas.

2.4 BASES PARA LA ZONACIÓN BIOESTRATIGRÁFICA, CAMBIOS EN LOS ORGANISMOS A TRAVÉS DEL TIEMPO.

2.4.1 LA EVOLUCION

Darwin (en Boggs, 2006) anotó que todos los organismos tienen altas tasas reproductivas, aún poblaciones de esos organismos permanecen esencialmente constantes por largos periodos. Explicó esta observación por sugerir que no todos los organismos de la misma clase (especies) están igualmente bien equipados para sobrevivir y además muchos individuos mueren antes de reproducirse. Cada individuo de una especie se diferencia de los otros individuos debido a variaciones que se producen dentro de un organismo por cambio. Algunas de esas variaciones de cambio pueden ser una ventaja para el organismo en relación con su ambiente y otras pueden ser desventaja. Variaciones adecuadas ayudan a los organismos a sobrevivir y extender su ambiente y rango.

Variaciones inadecuadas producen extinción. Darwin denominó este proceso como selección natural. Además propuso que esas variaciones favorables son hereditarias y se pueden transmitir de una generación a otra.

La contribución fundamental de Darwin al entendimiento de la evolución, fue reconocer que la selección natural era un proceso por el cual aparecen nuevas especies, debido a que esos individuos que sufren adaptaciones favorables tendrán una mejor ocasión de

sobrevivir y reproducirse. Pero, no entendió como se producen esas variaciones o como esas huellas se pasaron de una generación de organismos de la próxima generación. El concepto de cambio espontáneo en los genes, que nosotros ahora llamamos mutaciones no se conocía en el tiempo en que Darwin publicó su libro “El origen de las especies” en 1859.

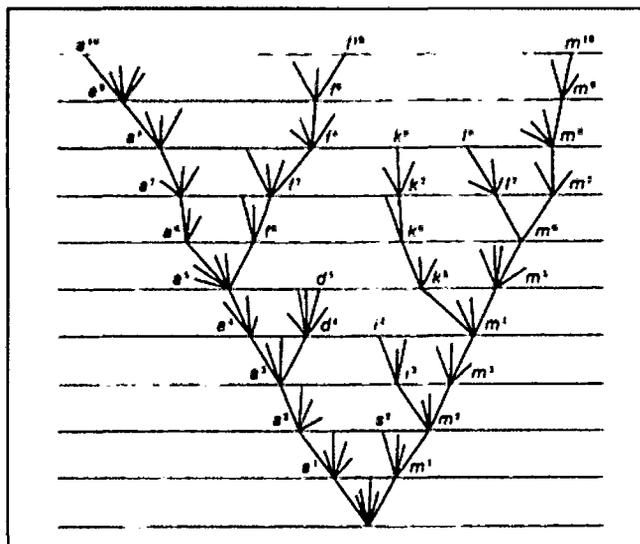


Figura N° 3: Diagrama realizado por Ch. Darwin en el origen de las especies.
Fuente: Darwin (1859).

2.4.2 **CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA E IMPORTANCIA DE LAS ESPECIES**

Los organismos se pueden clasificar de diferentes maneras, incluyendo el hábitat (planctónicos, nectónicos, bentónicos) y la distribución ambiental (litoral, nerítico, batial, abisal, etc.). La clasificación taxonómica que se basa en las similitudes morfológicas y evolutivas y en las relaciones genéticas es más adecuada para el reconocimiento y evolución de la zonación bioestratigráfica.

Linnaeus en 1735, agrupó los organismos dentro de una jerarquía de diferentes categorías teniendo en cuenta el número de características distintivas compartidas en común. Los organismos en la categoría más baja tienen el mayor número de

características comunes; y los de las categorías mayores tienen pocas características comunes. En la última categoría los organismos comparten muy pocas similitudes.

El sistema de clasificación de Linnaeus modificado por algunas ediciones posteriores se ilustra a continuación:

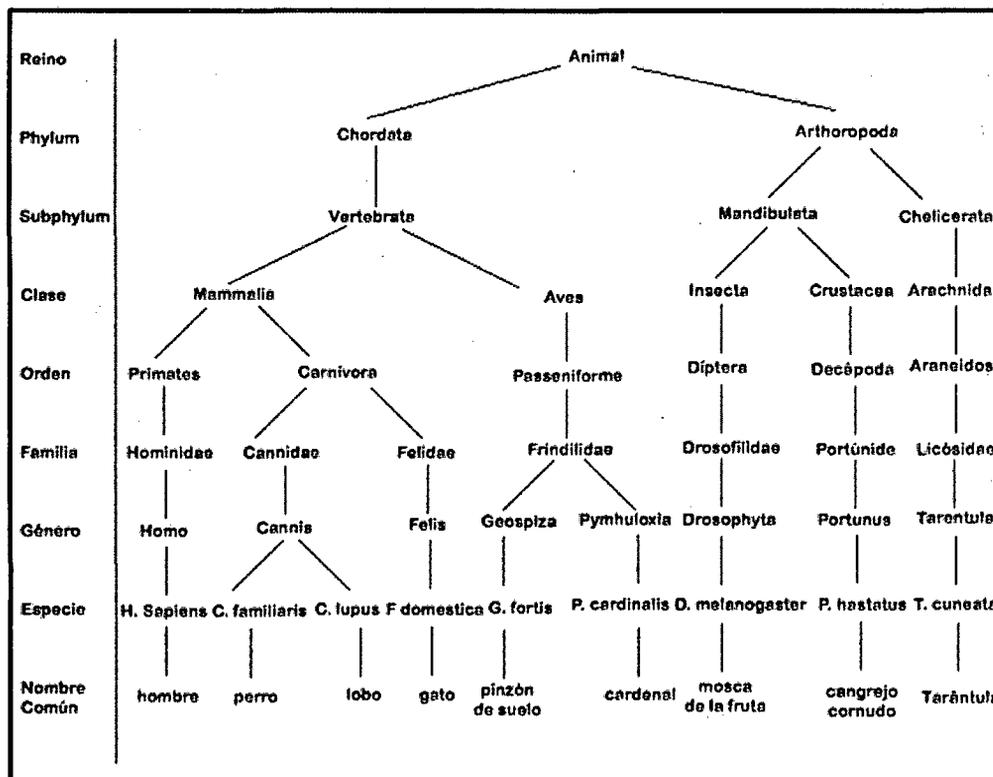


Figura N° 4: Sistema taxonómico para clasificación de organismos.
Fuente: Linnaeus (1735).

2.4.3 CAMBIOS DE LAS ESPECIES A TRAVÉS DEL TIEMPO

La importancia de las especies en el estudio bioestratigráfico radica en que las especies no permanecen inmutables por todo el tiempo. Si las condiciones ambientales permanecieran absolutamente constantes a través del tiempo, quizás las especies nunca podrían cambiar, pero como los ambientes cambian, las especies también cambian, aunque los ambientes no causan cambio directo de las especies. La mutación o la combinación de genes y las condiciones de cambio ambiental son esenciales en la evolución de las especies. Muchas especies se ajustan bien a su ambiente normal, pero

si aparece una variación apropiada en una especie justo al tiempo cuando esta se vuelve inadaptada a un cambio ambiental, la fuerza de la selección natural puede preservar esta nueva variante (Shaw, 1964). Así las especies se han desarrollado a través del tiempo como resultado de la selección natural de esas mutaciones de cambio al azar que se presentan en las especies cuando se ajustan mejor a las condiciones de cambio ambiental.

Todas las indicaciones del registro geológico sugieren que las variaciones de las especies son unidireccionales y no reversibles. Una especie que se extingue no reaparece en el registro fósil. Cuando los miembros de una nueva especie que aumenta de número, se pueden volver abundantes y dispersarse lo suficiente para aparecer en el registro geológico (la primera aparición de la especie). Cuando las especies no son capaces de ajustarse a las condiciones de cambio ambiental, sus miembros decrecen en número y eventualmente desaparecen la extinción, o última aparición, de las especies. La extinción se refiere a la desaparición por muerte de todos los miembros individuales de una especie o grupos taxonómicos mayores de tal modo que existe un corto linaje. Los paleontólogos reconocen también que una especie puede experimentar pseudo-extinción. Pseudo-extinción, o extinción filética, se refiere a un proceso evolutivo donde una especie se desarrolla en una especie distinta. Así, las especies originales se extinguen, pero el linaje continúa en las especies hijas. Algunas especies existieron por solamente una fracción de un período geológico. Otras persistieron por más largos periodos de tiempo. Los organismos que fueron abundantes, geográficamente ocuparon amplias áreas y vivieron durante cortos períodos de tiempo, tienen la mayor utilidad para estudios bioestratigráficos. [SAM BOGGS, JR (2006) pag.487 - 488].

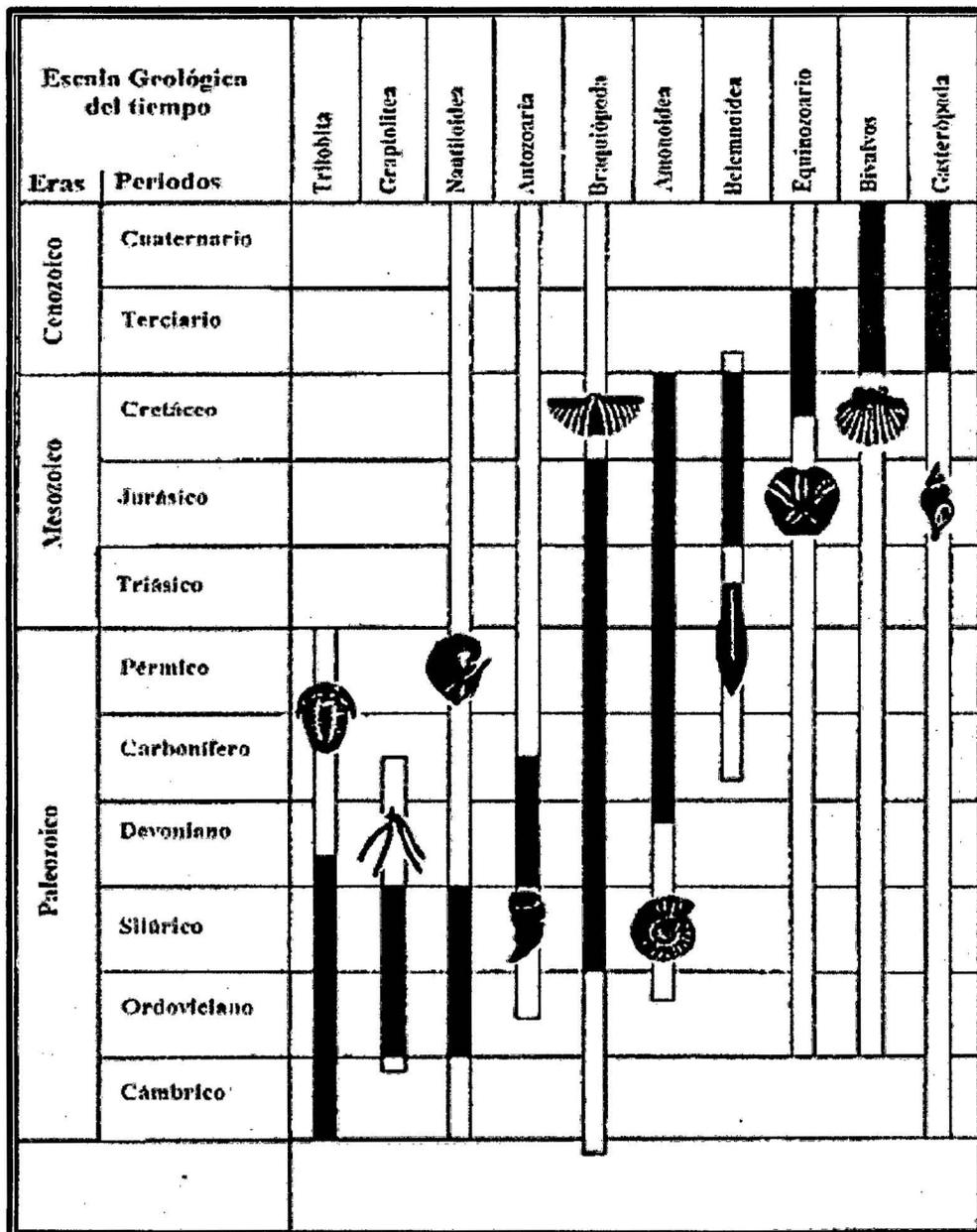


Figura N° 5: El más importante grupo de microfósiles de organismos de invertebrados marinos para zonación bioestratigráfica. Las columnas blancas muestran el espacio de tiempo de distribución, las columnas en negro el espacio de tiempo en los cuales los organismos son importantes como fósiles índices.

Fuente: Sam Boggs (1995).

2.4.4 **MODELOS Y TASAS DE EVOLUCIÓN.**

A. **Gradualismo:**

La evolución se produce por cambio gradual.

B. **Equilibrio puntuado:**

Muchas especies aparecen muy rápidamente de pequeñas poblaciones de organismos que se han aislado del rango original y luego cambian muy poco después de su próspero origen. Evolución por especiación o ramificación de linajes.

Las diferencias en esos dos postulados de evolución se ilustran gráficamente en el siguiente cuadro:

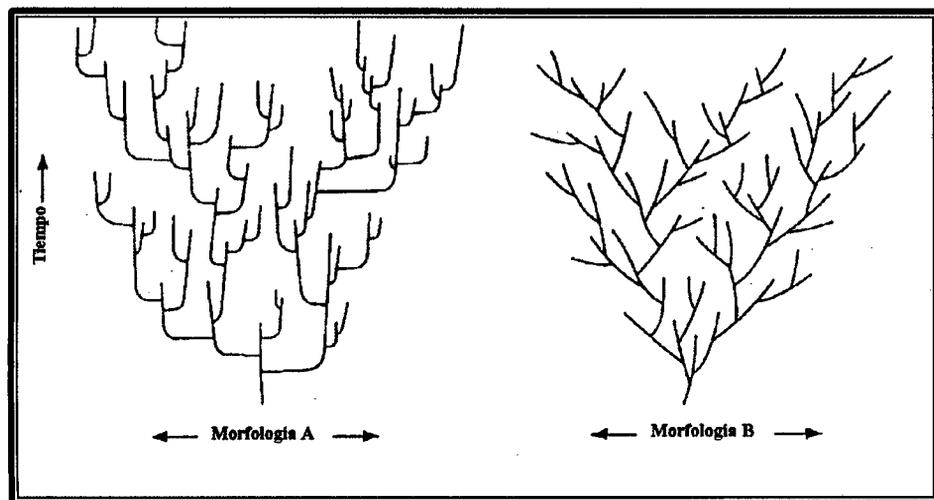


Figura N° 6: Esquema diagramático de filogenias hipotéticas (líneas de descendencia directa en un grupo de organismos) representando el modelo puntuacional (A) y el modelo gradualístico (B). Note que algo de la evolución filética se indica en el modelo A y algunos eventos de especiación en el modelo B muestran acelerada evolución.

Fuente: Sam Boggs (2006).

En el modelo puntuado, la especiación o ramificación de especies se ve como un proceso muy rápido, requiere solamente de decenas de miles de años o posiblemente pocos cientos de años, después que una población se vuelve reproductivamente aislada de la población parental. Aunque la duración de las especies desde la primera aparición a la extinción, se puede medir en millones de años, Tabla N°1, se cree que las especies cambian morfológicamente muy poco y solamente muy lentamente después de la especiación inicial.

Grupos Biológicos	Duración media estimada de las especies (Ma)
Diatomeas marinas	25
Foraminíferos bentónicos	20-30
Foraminíferos planctónicos	> 30
Briofitas	> 20
Bivalvos marinos	11 – 14
gasterópodos marinos	10 – 14
Plantas superiores	8 - > 20
Amonites	~ 5 (pero con una moda en el rango 1-2 Ma)
Peces de agua dulce	3
Graptolites	2 – 3
Escarabajos	> 2
Culebras	> 2
Maníferos	~ 1 – 2
Trilobites	> 1

Tabla N° 1: Duración media estimada de las especies (en millones de años) para una variedad de grupos biológicos.

Fuente: Sam Boggs (2006).

La facilidad de identificar los límites de las especies, y de establecer los límites de las zonas bioestratigráficas, se complica por problemas que involucran lo siguiente:

1. Intervalos de muestreo (como deben ser de pequeños para asegurar que los límites de las especies sean detectados).
2. Cambio en el registro fósil inducido por enterramiento y los caprichos de la preservación.
3. Constancia y tasas de sedimentación (más pequeños intervalos de muestreo se requieren para sedimentos que se acumularon muy lentamente versus los que se acumularon muy rápidamente).

4. Patrones intermitentes y puntuados de sedimentación y erosión que producen un registro estratigráfico incompleto, dando la apariencia de especiación puntuada.

Kauffman 1977 (en Boggs 2006) sostiene que los principales controles sobre las tasas de evolución se manifiestan externamente e incluyen:

- Tamaño de la población.
- Grado de aislamiento.
- Tasa de aislamiento.
- Diversidad de nichos.
- Tamaño y movilidad de los organismos.
- Control ecológico sobre su distribución.
- Relaciones tróficas.
- Demora de tolerancia ecológica.

La extinción de una especie se puede deber a cualquiera de las siguientes causas:

- Predación.
- Envejecimiento.
- Inanición.
- Deformidad genética.

2.4.5 EVOLUCIÓN DETERMINÍSTICA VERSUS PROBABILÍSTICA

Los controles evolutivos se relacionan a la pregunta de sí o no tales eventos evolutivos como radiación adaptativa y periodos de extinción en masa son determinísticos o probabilísticos. Eso es son eventos evolutivos explicables solamente en términos de factores causales o son leyes estadísticas o generalizaciones que pueden explicar esos eventos con base a variaciones al azar o procesos. Los modelos evolutivos probabilísticos son llamados modelos estocásticos. [SAM BOGGS, JR. (2006) pag.491].

2.4.6 *DISTRIBUCIÓN DE LOS ORGANISMOS EN EL ESPACIO PALEOBIOGEOGRÁFICO*

Pocas especies se distribuyeron a través de todo el mundo. Muchas en efecto se restringieron en su rango geográfico, aunque algunos grupos de fósiles variaron ampliamente en el tiempo a través de todo el ambiente ecológico.

En el pasado geológico, la región dentro de la cual un grupo particular o grupos de plantas o animales se distribuyen, se denomina provincia biogeográfica. Las provincias biogeográficas están separadas por barreras físicas o climáticas. Las áreas terrestres son barreras a los organismos marinos, y las aguas de mar abierto son una barrera para los animales y plantas terrestres. Las aguas profundas son una barrera a los organismos de aguas superficiales, el agua fría es una barrera a los organismos marinos, el agua dulce es una barrera a los organismos adaptados a las condiciones marinas salinas. Un tipo particular de barrera puede ser impenetrable por una especie de organismo, pero no para otra. Por ejemplo los organismos bentónicos que no tienen una larga vida, en la etapa de larvas juveniles planctónicas, las aguas profundas son una barrera a su dispersión. Por el contrario, los organismos planctónicos los cuales viven en aguas cerca la superficie son distribuidos ampliamente a través del océano en aguas superficiales y profundas. [SAM BOGGS, JR. (2006) pag.495].

2.4.7 *DISPERISÓN DE ORGANISMOS*

Los factores que afectan la dispersión de los organismos y plantas terrestres son diferentes a los que controlan la dispersión de los organismos marinos. Igualmente, la distribución de los organismos invertebrados marinos es controlada por factores diferentes a los que controlan la distribución de los grupos vertebrados marinos. Las especies son la unidad biológica fundamental en la naturaleza. Ellos son la unidad básica que sufre evolución; el nicho de las especies es la unidad funcional básica en las interacciones ecológicas; y las especies son las unidades fundamentales de la bioestratigrafía y la correlación.

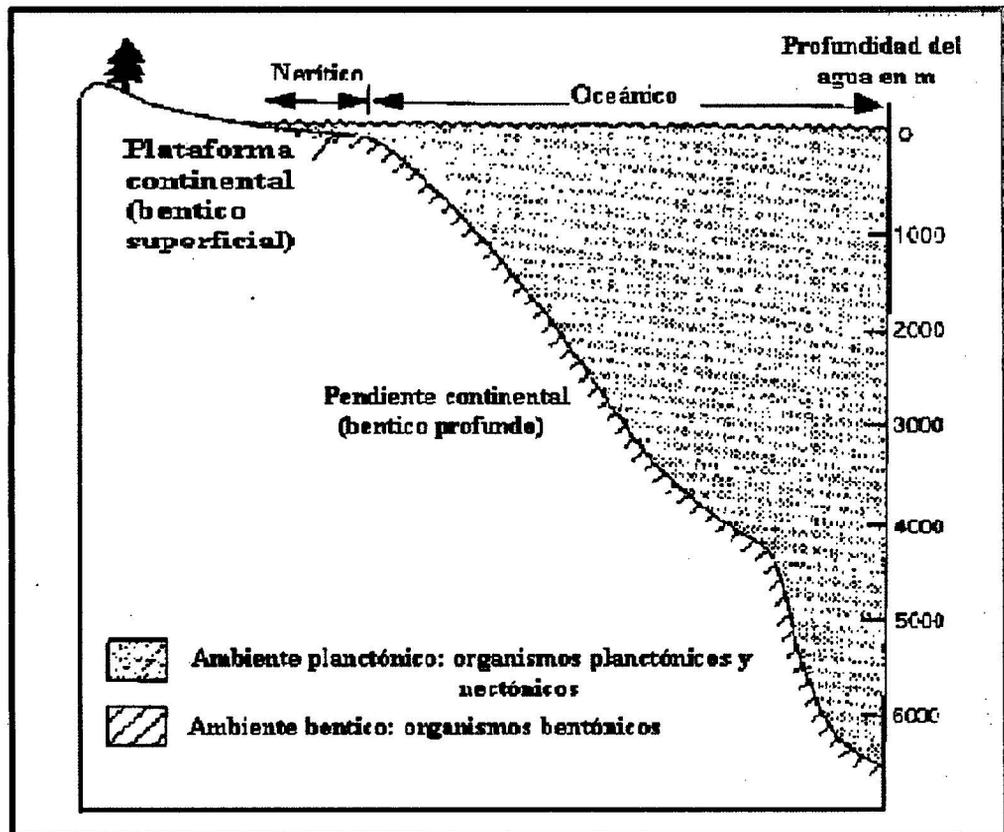


Figura N° 7: Subdivisiones del ambiente marino en los dominios pelágicos (columna de agua) y béticos (fondo). El dominio pelágico no es habitado por organismos planctónicos y nectónicos; Los organismos bentónicos ocupan los ambientes del fondo del dominio bético.
Fuente: Sam Boggs (1995).

La distribución de organismos invertebrados marinos es controlada por factores diferentes a los que controlan la distribución de grupos de vertebrados marinos.

Los organismos invertebrados marinos se pueden dividir en tres tipos básicos de acuerdo a su hábitat: Plancton, necton y bentos, Tabla N° 2. El plancton son organismos de tamaño principalmente microscópico que viven suspendidos a profundidades superficiales dentro de la columna de agua y tienen muy débil ó habilidad limitada para dirigir sus propios movimientos; se distribuyen más o menos por la acción de las corrientes y de las olas y pueden ocupar amplias áreas dentro de todos los tipos de ambiente del océano abierto. Debido a que ellos reflejan el hábitat del dominio pelágico y no el ambiente del fondo dentro del cual ellos caen cuando mueren, su presencia en rocas sedimentarias antiguas es de limitado valor en la interpretación ambiental. Los organismos planctónicos son fósiles excepcionalmente útiles para la zonación y correlación bioestratigráfica debido a su amplia distribución.

Clasificación	Descripción	Ejemplo
Planctónicos	Organismos que viven suspendidos en la columna de agua superior y tienen muy débil o limitada habilidad para dirigir sus propios movimientos	
Fitoplancton	Tienen la habilidad de efectuar la fotosíntesis, producen alimentación primaria o autótrofos	Diatomeas y dinoflagelados
Zooplancton	No efectúan la fotosíntesis, no pueden producir su propia comida (heterótrofos), se alimentan de fitoplancton	Foraminíferos, radiolarios y graptolites
Mero plancton	Gastan solamente su piso juvenil como plancton, posteriormente se vuelven nadadores libres u organismos que habitan el fondo	Larvas de muchos organismos bentónicos y moluscos
Seudo plancton	Organismos distribuidos por las olas y corrientes como resultado del enlace de algas marinas flotantes, madera etc.	Almejas
Bentónicos	Organismos que habitan el fondo, viven sobre o debajo del piso oceánico	
Bentos sésiles	Bentos que se fijan ellos mismos al sustrato (epifauna)	Crinoides, ostras, braquiópodos
Bentos errantes	Bentos que se arrastran o nadan sobre el fondo (epifauna) o que viven en el fondo (infauna)	Estrellas de mar, camarones, almejas, gusanos
Nectónicos	Organismos capaces de nadar libremente y así moverse largas distancias independientemente de las olas y corrientes	Cefalópodos móviles, peces, escualos, tiburones

Tabla N° 2: Clasificación de organismos por hábitat o estilo de vida.
Fuente: Sam Boggs 2006.

2.4.8 BARRERAS A LA DISPERSIÓN

Dodd y Stanton (1981) (en Boggs 1995) anotan que cada especie tiene un rango geográfico potencial que es determinado por sus requerimientos de hábitat. Pocas especies actualmente ocurren a través del rango potencial, ya que su distribución está restringida debido a la presencia de barreras de algún tipo que previenen su expansión en todas las áreas de hábitat adecuado o porque las especies pueden que no hayan tenido tiempo para dispersarse a todas las áreas adecuadas, especialmente si las barreras están presentes.

Si las barreras se cruzan o desaparecen, las especies emigrantes pueden hallar ellas mismas la competencia por los nichos ambientales con especies similares o similarmente adaptadas en la nueva provincia. En esta competencia, las especies indígenas o las emigrantes se pueden extinguir. Alternativamente las especies menos adaptadas podrían desarrollarse y adaptarse a diferentes nichos ambientales. Si una

barrera es superada, las colonizadoras expanden su nuevo rango a la nueva localización, hasta que esta es circunscrita por otras barreras llenando su nuevo rango local. Las especies entrometidas pueden subsecuentemente meterse hasta otras barreras, saltando de una región habitable a otra, a través de barreras de variada dificultad de penetración, episódicamente expandiendo su rango local.

La introducción de las barreras produce la expansión del rango total de una especie, aunque en algunos casos, esta puede causar la extinción de las especies en la nueva región o a su evolución a una especie más adaptable. De otro lado si la situación opuesta prevalece y una barrera repentinamente aparece y divide a un área continua de hábitat adecuado, el resultado es la segregación de las especies en diferentes poblaciones separadas por la barrera. Las poblaciones separadas podrían gradualmente desarrollarse en diferentes especies, cada una con un rango geográfico más restringido que las especies parentales.

2.4.9 *TEMPERATURA*

La temperatura es claramente una barrera mayor a la migración de las especies y comúnmente afecta más las larvas que los organismos adultos. Debido a que la distribución de la temperatura a lo amplio del mundo se controla latitudinalmente, las barreras de temperatura son más importantes latitudinalmente, aunque los cambios estacionales y aún los diurnos son también importantes. Los límites de todas las provincias bióticas modernas son en parte controlados por la temperatura, y las provincias bióticas antiguas fueron indudablemente controladas de igual manera. Los taxones de agua caliente se restringen principalmente a la zona ecuatorial del océano. Los taxones de agua fría de otro lado, pueden extender su rango cerca de la región ecuatorial por migración hacia abajo del gradiente batimétrico en aguas más profundas y más frías, si ellos son capaces de adaptarse a mayores profundidades. También, si una especie polar puede arreglárselas para hallar una manera de sobrepasar la barrera de temperatura y atraviesa la región ecuatorial, esta puede hallar hábitats adecuados de agua fría en o cerca a la superficie en las latitudes más altas de otro hemisferio.

Algunas especies de organismos se adaptan a un amplio rango de temperaturas y se les denomina eurythermales. Tales especies tolerantes a la temperatura se pueden distribuir a través de rangos mucho más amplios de zonas de temperatura que las especies menos tolerantes (stenotermiales). No obstante, aún las especies tolerantes son sensitivas a las variaciones de temperatura y no ocurren a través de todas las zonas de temperatura. Se debe reconocer también que las zonas de temperatura marina han cambiado a través del tiempo geológico. Como las zonas climáticas del mundo han cambiado en respuesta al movimiento de placas y episodios de glaciación, una región geográfica dada del mundo puede así registrar una sucesión de faunas de aguas más frías o más calientes a través del tiempo en respuesta a esos cambios en las condiciones climáticas.

2.4.10 *BARRERAS GEOGRÁFICAS*

Los términos falla del hábitat, movimiento de placas y elevación de la profundidad son todas diferentes maneras de expresar el concepto de barreras geográficas. Esas barreras geográficas provienen del patrón de distribución de masas terrestres y océanos y variaciones en la profundidad del agua de los océanos. Todos los organismos marinos tienen profundidades de agua limitadas a las cuales ellos pueden sobrevivir. Así el agua que es muy profunda o muy superficial puede constituir una barrera a una especie particular de organismo. Las masas terrestres constituyen barreras a la dispersión de organismos marinos, y el océano abierto es una barrera a la migración de animales y plantas continentales de un continente a otro. Los factores más importantes que influyen las barreras geográficas parecen ser los cambios en el nivel del mar y los cambios en la naturaleza y distribución geográfica de masas terrestres y el piso del océano producidos por movimiento de placas.

2.4.11 *CAMBIO EN EL NIVEL DEL MAR*

Los cambios en el nivel del mar causan interrupciones significantes en las provincias biogeográficas debido a cambios en la profundidad del agua sobre la plataforma continental. Durante un descenso mayor en el nivel del mar, el agua se retira de la plataforma continental, exponiendo mucha de la plataforma interior. El área habitable de agua superficial se reduce en gran medida llegando al amontonamiento e incremento de la competencia entre las especies de agua superficial que no se pueden mover hacia el mar en las aguas más profundas y entonces, se presenta una probable extinción de los grupos menos adaptables. Durante el ascenso mayor en el nivel del mar, la profundidad del agua sobre la plataforma continental más exterior se incrementa, pero el área total de agua superficial a lo largo del margen continental se incrementa también bastante debido a la dispersión de los mares sobre las márgenes del continente. Los nichos ambientales disponibles para organismos de agua superficial igualmente se incrementan, produciéndose menor competencia entre las especies por espacio y comida disponible. Esas condiciones permiten la expansión de los rangos locales de especies cuando ellos se mueven en hábitats favorables y también probablemente a la aparición rápida de nuevas especies (especiación) como resultado de la radiación adaptativa de grupos que sobreviven los episodios precedentes al descenso del nivel del mar.

Hallam, 1981 (en Boggs 1995) establece que un análisis de géneros a través del mundo indica una clara relación inversa entre endemismo y el área del continente cubierta por el mar. El Endemismo. Es la tendencia de las especies u otras taxa a tener un rango geográfico muy restringido. En contraste, el pandemismo, es la tendencia de las especies a tener una distribución a lo amplio del mundo. El sugiere que cuando el nivel del mar descende, la migración faunística entre las áreas de plataforma continental se restituiría con mayor dificultad y por lo tanto habría menos flujo de genes. Así allí sería más local la especiación entre los organismos dispersables que ocuparon los hábitats de aguas más superficiales.

2.5 EFECTOS COMBINADOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ORGANISMOS EN EL TIEMPO Y EN EL ESPACIO

Eicher 1976 (en Boggs 2006) anota que los registros ambientales y temporales son importantes para la interpretación de la historia geológica, donde lo temporal se relaciona a variaciones con el tiempo. Si los organismos a través del tiempo geológico se han dispersado a lo amplio del mundo y no se han confinado a provincias y ambientes biogeográficos específicos, la correlación a lo amplio del mundo de estratos con base en los fósiles se podría facilitar en gran medida, asumiendo que los cambios evolutivos han sido simultáneos y a lo amplio del mundo. Bajo esas condiciones, los fósiles podrían proporcionar poca o ninguna ayuda al trabajar ambientes depositacionales antiguos porque más o menos los mismos organismos podrían haber vivido en todos los ambientes. Contrariamente, si los organismos estuvieron distribuidos en provincias biogeográficas como las de hoy, pero la evolución orgánica nunca ocurrió, podríamos ser capaces de interpretar el ambiente antiguo local con gran certeza porque las rocas sedimentarias antiguas contendrían las mismas especies que los de los ambientes modernos. Esas especies no serían de ningún valor en correlación y la explicación de las cronologías locales debido a las mismas especies habrían existido a través del tiempo geológico.

El registro fósil real refleja el hecho que la segregación en provincias biogeográficas y la evolución orgánica se presentan. Debido a la evolución orgánica, somos capaces de correlacionar estratos de una edad dada de un área a otra y trabajar la cronología relativa de estratos en un área dada. Debido a que muchos organismos estuvieron confinados a provincias biogeográficas en el pasado, no podemos siempre correlacionar estratos equivalentes en tiempo de diferentes ambientes porque los organismos que existieron en diferentes provincias biogeográficas durante el mismo periodo de tiempo fueron diferentes. Así, la correlación entre provincias biogeográficas es difícil, y comúnmente no es posible hacer correlaciones a lo amplio del mundo. De otro lado, debido a que diferentes grupos de organismos estuvieron confinados a diferentes provincias y diferentes ambientes, la provincialidad de los organismos antiguos proporciona una invaluable herramienta para la interpretación de ambientes sedimentarios antiguos.

La provincialidad de los organismos crea problemas especiales desde el punto de vista de la determinación de la extensión estratigráfica vertical total de una especie. Unas especies pueden existir en una provincia por largos periodos de tiempo antes de introducir una barrera y dispersarse en una provincia cercana.

Después de la migración en la nueva provincia, las especies pueden morir en la vieja provincia mientras continúan prosperando por algún tiempo en la nueva región. Además la extensión vertical local de una especie en una provincia dada, algunas veces llamada la zona teil, puede ser mucho más corta que la extensión total de las especies a una escala global. Los paleontólogos deben ser extremadamente cuidadosos acerca de reconocer esta posibilidad cuando usan fósiles para correlaciones de tiempo. Este problema se demuestra en la figura N° 8, la cual ilustra algunos de los factores que pueden afectar la extensión de las especies. Este diagrama muestra que la extensión de una especie es afectada por los cambios evolutivos y por la presencia de barreras que pueden regular los tiempos de migración dentro de la primera aparición en la provincia cercana.

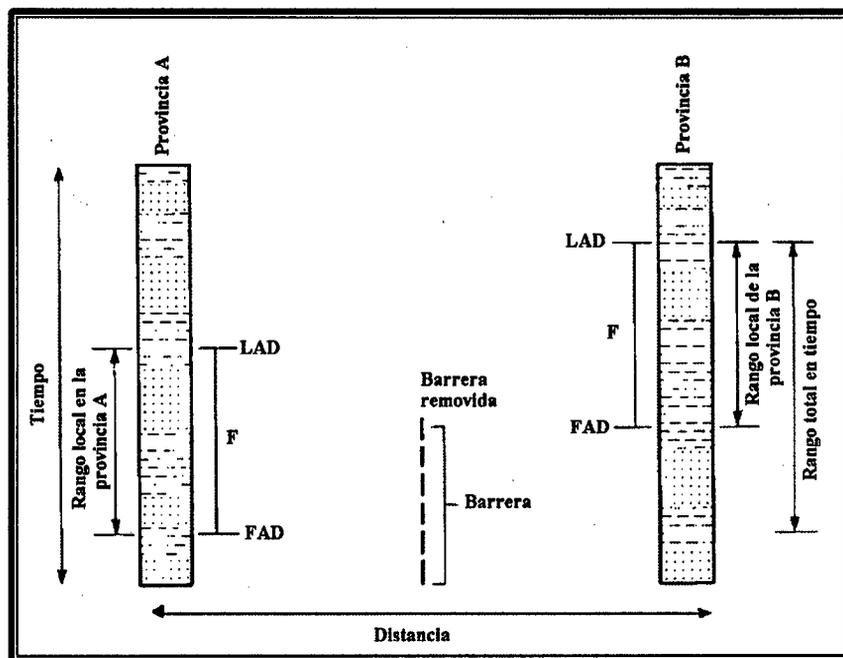


Figura N° 8: Diagrama ilustrando la diferencia en la extensión local y total de una especie hipotética F. La especie F aparece primero en la provincia A y es restringida a la provincia A por una barrera. Más tarde la remoción de la barrera permite la migración a la provincia B, donde la especie persiste por un tiempo después de que esta ha muerto en la Provincia A. FAD = Nivel de la primera aparición; LAD = Nivel de la última aparición.

Fuente: Sam Boggs (2006).

2.6 **BIOCORRELACIÓN**

Las unidades bioestratigráficas son unidades estratigráficas objetivas observables identificadas con base en su contenido fósil, por lo tanto se pueden trazar y aparear de una localidad a otra tal como se traza una unidad litoestratigráfica. Por ejemplo las zonas de conjunto y las zonas de abundancia pueden atravesar las líneas de tiempo (diacrónicas) cuando se trazan lateralmente.

De otro lado, las zonas de intervalo, particularmente las definidas por la primera aparición de taxa producen líneas de correlación que coinciden en general con las líneas de tiempo. Las unidades bioestratigráficas se pueden correlacionar independientes de su significado en el tiempo usando los mismos principios empleados en correlación de unidades litoestratigráficas (apareando por identidad y posición en la secuencia estratigráfica).

2.6.1 ***CORRELACIÓN POR ZONAS DE CONJUNTO***

Las zonas de conjunto, se basan en agrupamientos distintivos de tres o más taxa sin registro de sus límites de extensión. Se definen por diferentes sucesiones de faunas o floras y ellas se suceden cada una a la otra en la sección estratigráfica sin vacíos o traslapes. Las zonas de conjunto tienen particular significado como indicadores de ambiente, las cuales pueden variar en gran medida regionalmente. Además ellas tienden a ser de mayor valor en correlaciones locales. No obstante, algunas zonas de conjunto que se basan con conjuntos planctónicos marinos se pueden usar para correlación en áreas mucho más amplias. El principio de correlación por zonas de conjunto se ilustra gráficamente en la figura N° 9.

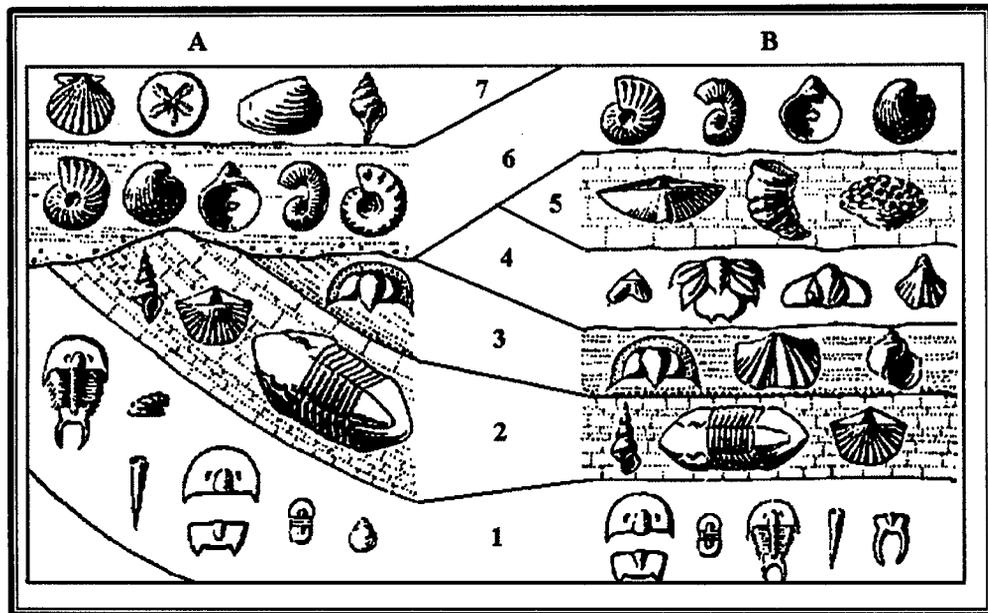


Figura N° 9: Diagrama general que ilustra el principio de correlación por zonas de conjunto (Moore et al). (1952).
Fuente: Sam Boggs 2006.

Shaw 1964 anota que los límites entre zonas de conjunto son inherentemente borrosos debido a que los límites arriba y debajo de esta zona serán zonas de transición en las cuales la parte del conjunto fósil característico estará perdido debido a que este aún no ha aparecido o ya se ha desvanecido. Además hay límites prácticos para la exactitud que se pueden obtener por correlaciones con zonas de conjunto. Parte del problema en la correlación por zonas de conjunto radica en el hecho que el número de taxa fósil que un bioestratigrafo debe trabajar es tan grande que es difícil visualmente asimilar los datos y dibujar límites de zonas significantes (Figura N° 10). Para resolver este problema los primeros trabajadores tendieron a reducir el número de taxa cuya distribución sería estudiada, o ellos trataron de hacer muestras compuestas. Una solución más reciente a este problema es aplicar las técnicas de análisis estadístico multivariado para reconocer y delinear las zonas de conjunto. Esas técnicas cuantitativas proporcionan unas bases estadísticas racionales para delinear zonas con base en gran número de taxa sin tener en cuenta la decisión del bioestratigrafo. Detalles de esas técnicas multivariadas se dan en Hazel 1977, Brower 1981 y Gradstein et al, 1985 (SAM BOGGS, JR. 2006. Pag.503).

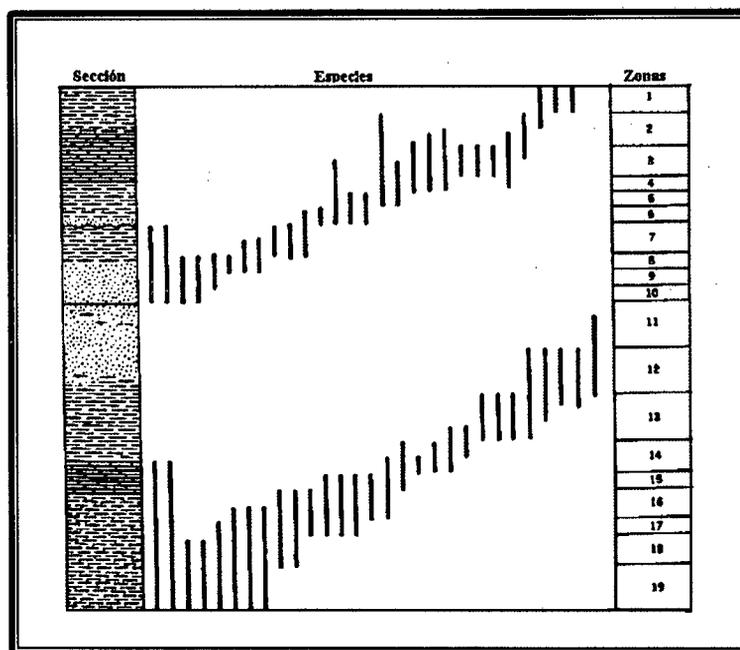


Figura N° 10: Sección estratigráfica hipotética ilustrando el gran número de taxa fósiles que pueden involucrarse en la correlación por zonas de conjunto. Las líneas negras verticales representan las extensiones compuestas de las especies halladas en varias secciones locales. La columna de la derecha muestra una interpretación que podría dibujarse de los datos de esos fósiles (desde Hazel, J. E., 1977).
Fuente: Sam Boggs (2006).

2.6.2 *CORRELACIÓN POR ZONAS DE ABUNDANCIA*

Las zonas de abundancia o zonas acme, se definen por la máxima abundancia de una o más especies, géneros u otros taxones antes que por la extensión del taxón. Representan un tiempo o tiempos cuando un taxón particular estuvo en el máximo de su desarrollo con respecto al número de individuos. La opinión prevaleciente es que muchas zonas de abundancia son inciertas y no satisfactorias para correlación estratigráfica del tiempo. Esta opinión se basa en el hecho aparente que no todas las especies obtienen una máxima abundancia, o que si ellas lo hacen, este pico no es necesariamente registrado por los estratos de especímenes abundantes. Además, los picos de abundancia que se registran en el registro estratigráfico se pueden relacionar a condiciones ecológicas locales favorables que pueden ocurrir a diferentes tiempos en diferentes áreas y que pueden persistir en un área mucho más tiempo que en otra. La máxima abundancia puede así representar ambientes locales esporádicamente favorables, ambientes repentinamente desfavorables que causan mortalidad en masa, o

concentración mecánica de las conchas de organismos después de muertos. Algunos de los problemas de correlación por zonas de abundancia se ilustran en la figura N° 11.

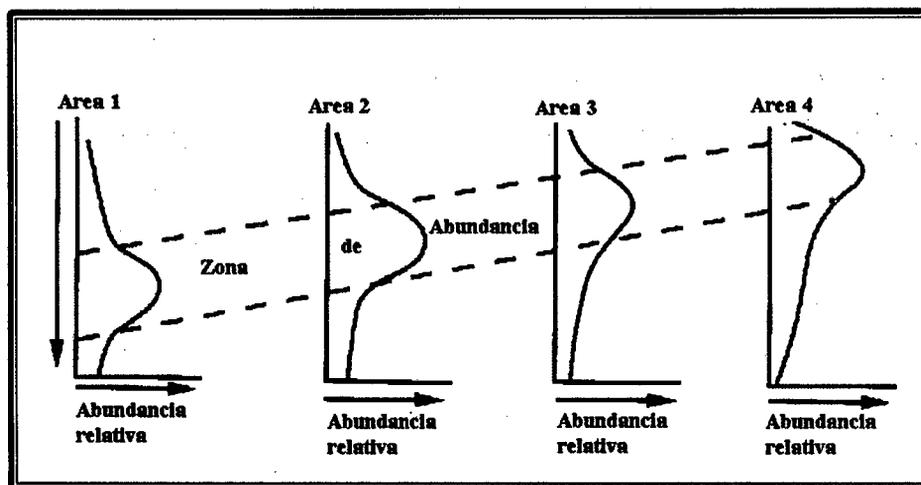


Figura N° 11: Diagrama esquemático ilustrando porque la correlación por zonas de abundancia (acme) no puede producir una correlación real de tiempo. Las mismas especies pueden obtener su máxima abundancia en diferentes tiempos en diferentes localidades. La edad de los estratos incrementa hacia abajo; la abundancia relativa incrementa a la derecha.

Fuente: Sam Boggs (2006).

2.7 CRONOCORRELACIÓN POR FÓSILES

La correlación cronoestratigráfica es el apareamiento de unidades estratigráficas con base en la equivalencia en tiempo. El establecimiento de la equivalencia en tiempo de estratos es la espina dorsal de la estratigrafía global y se considera por muchos estratigrafos el más importante tipo de correlación. Los métodos para establecer correlación estratigráfica del tiempo caen en dos amplias categorías: biológica y físico/química. Como se mencionó, la correlación estratigráfica del tiempo por métodos biológicos se basa principalmente en el uso de las zonas de extensión concurrente y otras zonas de intervalo. Los métodos biológicos también incluyen tratamiento estadístico de datos de zonas de extensión y correlación por zonas de abundancia biogeográficas, las cuales son eventos biológicos relacionados a fluctuaciones del clima. Una variedad de métodos físicos y químicos están disponibles para correlación cronoestratigráfica y se discutirán más adelante. La discusión de biocorrelación que sigue representa una introducción muy general de este aspecto. Para un tratamiento más profundo de biocorrelación, ver, Gradstein et. al. 1985 y Guex 1991 [(SAM BOGGS, JR. 2006. Pag.504)].

2.8 CORRELACIÓN POR ZONAS.

Las zonas de intervalo son biozonas que constituyen los estratos que caen dentro del más alto o la menor ocurrencia de taxa. Se reconocen varias zonas de intervalo, incluyendo esas formadas por rangos traslapantes de taxa.

1. El intervalo entre la primera y la última aparición de un simple taxón (zona de extensión de un taxón).
2. El intervalo entre la primera aparición o la última aparición de dos taxa diferentes
3. El intervalo entre la primera aparición de un taxón y la última aparición de otro.
4. Intervalo definido por las zonas de extensión traslapantes (zona de extensión concurrente).

Esas diferentes zonas de intervalo tienen variados grados de utilidad en la correlación estratigráfica del tiempo como se describe a continuación.

A. ZONAS DE EXTENSIÓN DE TAXÓN.

Puede ser muy útil para correlación de tiempo si el taxa en el cual se basa tiene muy corta extensión estratigráfica. Son de poco valor si la extensión de los taxa es a través de todo el período geológico o varios periodos. La correlación por zona de extensión de taxón con frecuencia se refiere a correlación por fósil índice. Se considera fósiles índices a esos taxones que tienen muy corta extensión estratigráfica, fueron geográficamente dispersos, fueron suficientemente abundantes para quedar en el registro estratigráfico y son fácilmente identificables. Desafortunadamente, el término fósil índice también se ha usado de otras maneras y puede tener otra connotación. Además, este es menos confuso cuando se habla de correlación basada en todo la extensión de un taxón para referirse a este simplemente como correlación por zona de extensión (Taxón). La correlación por zona de extensión de taxón se ilustra en la Zona 1 de la figura N° 12.

B. OTRAS ZONAS DE INTERVALO

Cuando las zonas de extensión de un taxón individual son muy largas y la correlación por zonas de extensión de taxón no es adecuada, la correlación a escala mucho más fina es posible al usar otros tipos de zonas de intervalo. Por ejemplo las zonas de intervalo definidas por la primera aparición (estratigráficamente más baja) de dos taxa, son de particular utilidad en correlaciones estratigráficas de tiempo porque ellas se basan sobre los cambios evolutivos, a lo largo de linajes filéticos, que tienden a ocurrir muy rápidamente. Así, el intervalo entre la primera aparición documentada de dos taxa puede representar un muy corto espacio de tiempo, y la edad del estrato en este intervalo puede ser aproximadamente sincrónica a través de su extensión. Las zonas de intervalo definidas por la última aparición de un taxón (estratigráficamente más alta) comúnmente se considera que tienen menos significado en el tiempo que las que se basan en la primera aparición porque las extinciones de taxa comúnmente no ocurren con la misma prontitud que la nueva aparición de las especies a través de la evolución filética.

La figura N° 12, ilustra algunos de los diferentes métodos que se pueden usar para correlacionar entre dos secciones estratigráficas con base en las zonas de intervalo. Note de esta ilustración que las zonas de intervalo que se pueden identificar porque representan mucho menor espacio de tiempo que las zonas de extensión de muchos taxa individuales. La correlación se puede hacer también entre secciones estratigráficas simplemente con base en la primera o la última aparición de taxa específicas sin correlacionar entre zonas. En otras palabras, una línea de correlación se puede dibujar desde la posición estratigráfica representada por la primera aparición de un taxón particular, al mismo taxón en otra sección estratigráfica. Similarmente, la correlación se puede hacer entre la última aparición de un taxón dado en secciones estratigráficas diferentes.

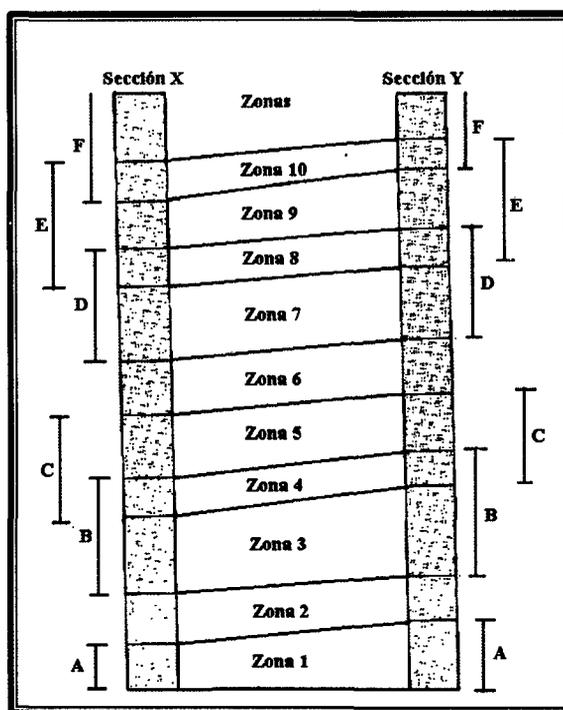


Figura N° 12: Correlación entre dos secciones hipotéticas con base en zona de intervalo. Note que varios tipos de zonas de intervalo se usan aquí para correlación. Por ejemplo, la Zona 1 se define por la extensión vertical total de la especie A; la Zona 2 es una zona de intervalo definida por la última aparición de la especie A y por la primera aparición de la especie B; la Zona 4 se forma por las extensiones traslapantes de las especies B y C.

Fuente: Sam Boggs (2006).

2.10 CORRELACIÓN POR ZONAS DE ABUNDANCIA BIOGEOGRÁFICAS.

Bajo el título de biocorrelación se discutió la correlación por zonas de abundancia fósil (acme) y se anotó que las zonas de abundancia son inciertas para correlación estratigráfica del tiempo porque ellas son afectadas por condiciones ambientales y otros factores que pueden hacer que sean diacrónicas. Una aproximación diferente al uso de zonas de abundancia produce correlaciones que tienen significado en tiempo estratigráfico; esta aproximación es la correlación que se basa en la máxima abundancia de un taxón que resulta de los cambios geográficos de un conjunto fósil ambientalmente sensible (Haq y Worsky, 1982 en Boggs 2006). Debido a diferencias de temperatura relacionadas a la latitud en el océano, algunas especies u otros taxa están restringidos a provincias biogeográficas que son definidas por la latitud. Así taxa de latitudes bajas son ecológicamente excluidas de latitudes altas y viceversa: cambios en el clima pueden permitir cambios de esos taxa en diferentes provincias biogeográficas. Por ejemplo

durante las mayores etapas glaciales los taxa de latitudes altas se pueden expandir en las latitudes bajas y durante las épocas cálidas dentro de las mayores etapas glaciales los taxa de latitudes bajas se pueden expandir en las latitudes más altas. Desde un punto de vista geocronológico la dispersión de ciertas especies planctónicas en respuesta a las mayores fluctuaciones climáticas son esencialmente isócronas. Los cambios relacionados al clima en taxa platónicos en tiempos específicos proporcionan eventos de abundancia biogeográficos que se pueden correlacionar de un área a otra. En cada núcleo o sección de afloramiento estudiado, se construyen curvas climáticas con base en el porcentaje de taxa de clima cálido o frío o abundancia relativa de un taxón particular. Esas curvas luego se pueden usar para identificar episodios de calentamiento y enfriamiento que se pueden correlacionar de una sección a otra. La figura N° 13 construida a partir de este tipo de información, ilustra como los cambios latitudinales climáticamente controlados en conjunto de nanoplancton calcáreo en el Atlántico Norte durante el Mioceno se ha usado para correlación cronoestratigráfica en núcleos de mar profundo.

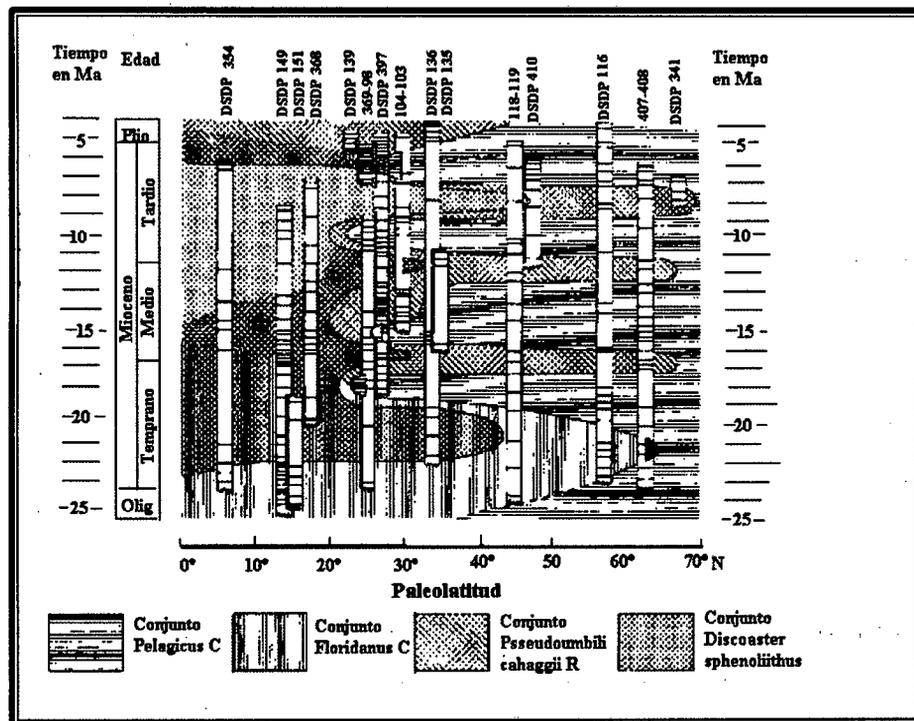


Figura N° 18: Uso de zonas de abundancia biogeográficas como un medio de correlación de tiempo. Ciclos de cambios latitudinales de conjuntos de nanoplancton calcáreo en el océano Atlántico Norte durante el Mioceno se interpretan en respuesta a las mayores fluctuaciones climáticas. Los mayores cambios de conjuntos de latitudes medias relativamente cálidas a latitudes más altas se pueden usar para el refinamiento de la escala biocronológica en las latitudes más altas desde las cuales los taxones marcadores de latitudes bajas normalmente se excluyen.

Fuente: Sam Boggs (2006).

La mayor desventaja de esos métodos de correlación basados sobre respuestas biológicas a fluctuaciones climáticas es que su uso está restringido principalmente para correlacionar sedimentos depositados durante el Cuaternario y el Paleógeno-Neógeno Tardío, cuando varios episodios de enfriamiento y calentamiento se presentaron en el océano del mundo. No obstante ellos proporcionan un complemento útil para los métodos de correlación basados en isótopos de oxígeno, los cuales también involucran fluctuaciones climáticas en el Paleógeno-Neógeno y Cuaternario.

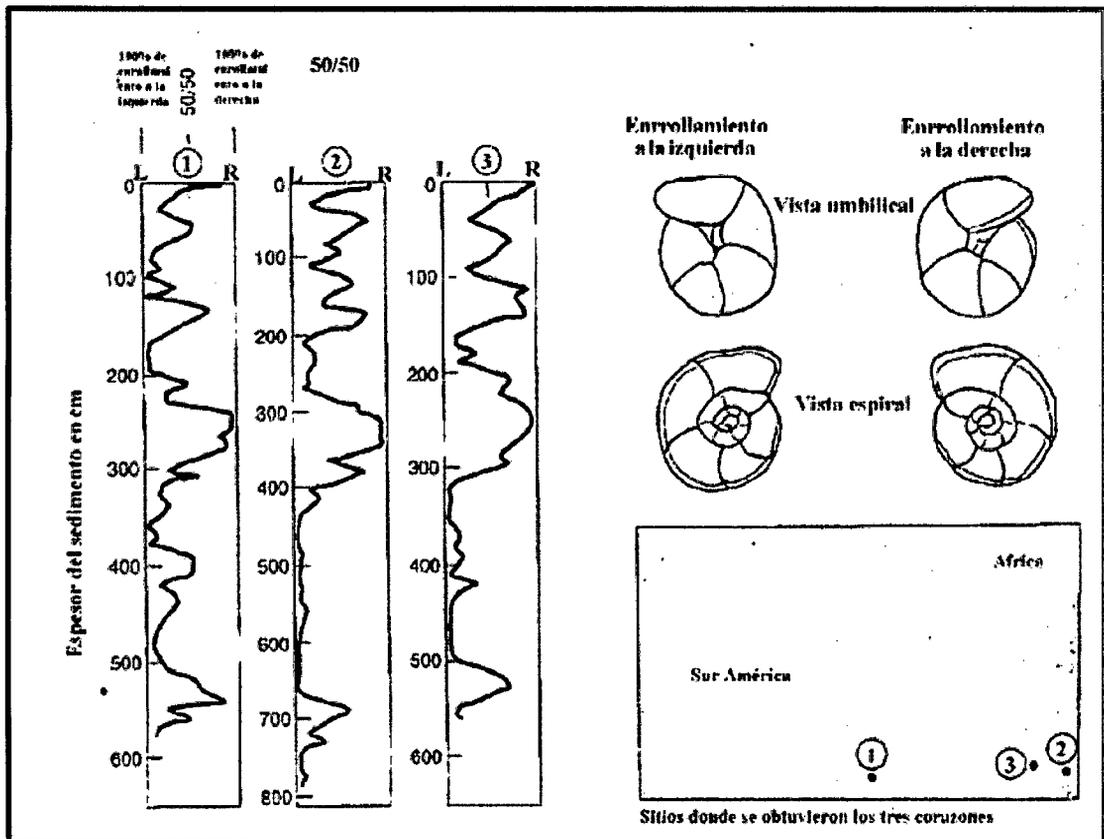


Figura N° 14: Correlación por zonas de abundancia biogeográficas basadas en las relaciones de enrollamiento de foraminíferos. La correlación se basa en las relaciones de enrollamiento de *Globorotalia truncatulinoides* en tres núcleos del Océano Atlántico Sur. El tiempo depositacional representado por los núcleos es cerca de 1.5 millones de años.

Fuente: Sam Boggs (2006).

2.11 ROCAS SEDIMENTARIAS CARBONATADAS

Las rocas carbonatadas de acuerdo a su mineralogía se dividen en calizas y dolomías. Las calizas están compuestas principalmente por el mineral calcita y las dolomías compuestas principalmente por el mineral dolomita. Las rocas carbonatadas representan aproximadamente entre 20 al 25% de todas las rocas sedimentarias del registro geológico. Las calizas presentan variadas texturas, estructuras y fósiles que proporcionan importante información acerca de los antiguos ambientes marinos, condiciones paleo ecológicas y la evolución de la vida marina a través del tiempo.

La química elemental de las rocas carbonatadas está dominada por iones de calcio, magnesio y carbonato. Siendo el magnesio es particularmente constituyente de las dolomías. Existen dos tipos de calcita; con bajo contenido en magnesio (llamada simplemente calcita) conteniendo menos del 4% de carbonato de magnesio y calcita con alto contenido de magnesio conteniendo más del 4% de carbonato de magnesio.

Existe otro tipo de roca denominada marga. La marga se compone de carbonatos y arcillas. Según las relaciones cuantitativas se distingue marga arcillosa, marga y marga carbonatada. Normalmente el carbonato es presentado por calcita, a veces por dolomita. Componentes adicionales pueden ser cuarzo, mica y compuestos carbonosos. La marga frecuentemente lleva nódulos de yeso, calcita y pirita, es de color gris claro hasta oscuro, café o verdoso, frecuentemente contiene microfósiles. El tamaño de los granos es igual al de la arcilla (<0,002mm). [Sam Boggs, Jr (2006)].

2.12 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CARBONATADAS

La clasificación de rocas carbonatadas se hace en función de los elementos texturales que la componen y su fábrica.

Las dos clasificaciones más usadas son las de Folk (1962) y Dunham (1962).

2.12.1 *CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK (1959,1962).*

- ✓ Clasifica el sedimento.
- ✓ Resta todos los procesos diagenéticos.

✓ Se basa en el porcentaje de los dos tipos de elementos texturales en las rocas carbonatadas:

- **Ortoquímicos:** matriz y cemento.
- **Aloquímicos:** granos.

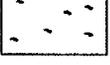
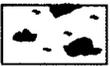
[CALIZAS ORTOQUÍMICAS]		[CALIZAS ALOQUÍMICAS]			
MATRIZ ↑ ± GRANOS ↓ (<10 %)		GRANOS ↑ (>10 %)			
GRANOS <1 %	GRANOS <10 %	+ MATRIZ	+ CEMENTO		
MICRITA 	MICRITA INTRACLÁST.	INTRA-MICRITA	INTRA-ESPARITA	> 25 % INTRACLASTOS	
	MICRITA OOLÍTICA	OO-MICRITA	OO-ESPARITA	> 25 % OOIDES	
DISMICRITA 	MICRITA FOSILÍFERA	BIO-MICRITA	BIO-ESPARITA	FOS / PEL > 3 / 1	< 25% INTRA CLAS TOS OOIDES
	MICRITA CON PELLETS	BIOPEL-MICRITA	BIOPEL-ESPARITA	3/1 < FOS/PEL > 1/3	
		PEL-MICRITA	PEL-ESPARITA	FOS / PEL < 1 / 3	

Figura N° 15: Clasificación de las rocas carbonatadas.
Fuente: Modificado de Folk 1962.

2.12.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962).

El Criterio utilizado por Dunham son los porcentajes relativos de granos y de barro (presencia o no de micrita) y su disposición (fábrica).

La clasificación de Dunham no hace referencia al tamaño de los granos ni al tipo de estos; se suele hacer, sin embargo, mención de ello. Ejemplo: grainstone oolítico, o packstone de crinoideos. Esta clasificación presenta como ventaja su fácil utilización en terreno. Debido a que los nombres son colocados dependiendo de la textura depositacional de la roca, tienen connotaciones en cuanto a indicación de energía en el medio sedimentario; grainstone: sedimentos muy lavados, mudstone: sedimentos propios de aguas no agitadas.

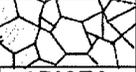
TEXTURA DEPOSICIONAL VISIBLE					TEXTURA DIAGENE- TICA
TEXTURA LODOSA - GRANUDA (granos ± transportados)				TEXTURA BIOCONSTRUIDA (componentes ligados durante el depósito)	
TEX. LODOSA (soporte de matriz)		TEX. GRANUDA (soporte de granos)			
MATRIZ ↑ ± GRANOS (<10%)	MATRIZ ↑ + GRANOS (>10%)	GRANOS ↑ + MATRIZ	GRANOS ↑ + CEMENTO		
					
MUD- STONE	WACKE- STONE	PACK- STONE	GRAIN- STONE	BOUND- STONE	
					CRISTA- LINA

Figura N° 16: Clasificación de las rocas carbonatadas.
Fuente: Modificado de Dunham 1962.

2.13 ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Las estructuras sedimentarias representan las características más destacadas de un sedimento, en otras palabras describen la disposición geométrica que presentan los elementos que constituyen un sedimento; los cuales se observan mejor en un afloramiento que en los ejemplos del tamaño manual. Las estructuras sedimentarias dependen más de las relaciones existentes entre los agregados sedimentarios que de las relaciones que hay entre los granos, y que regulan la textura. Las estructuras sedimentarias que se pueden presentar en las rocas carbonatadas pueden ser:

a. Marcas ondulatorias o de corriente:

- Paleocanales.
- Marcas de erosión de la corriente (Flute casts).
- Marcas de surco (Groove casts).
- Marcas de impacto de rebote (Prod y Bounce casts).

b. Marcas físicas en el techo:

- Grietas de desecación.
- Huellas de gotas de lluvia.
- Huellas de burbujas.
- Huellas de cristales.

c. Formaciones de carga.

2.13.1 TIPOS DE ESTRATIFICACIÓN

Los criterios que pueden servir para tipificar la estratificación son diversos, aunque esencialmente se basan en dos aspectos fundamentales: la geometría de las capas que forman los estratos y los rasgos distintivos de las asociaciones de estratos sucesivos.

2.13.1.1 *GEOMETRÍA DE LOS ESTRATOS*

Considerando los estratos individualmente se puede establecer una clasificación de tipos geométricos a partir de la geometría del techo y del muro.

a) **Estratos tabulares:**

Cuando las dos superficies de estratificación (techo y muro) son planas y paralelas entre sí.

b) **Estratos irregulares, con muro erosivo:**

Son estratos con gran extensión lateral, con un muro irregular y un techo plano, por lo que su espesor varía.

c) **Estratos acanalados:**

Con escasa extensión lateral y espesor muy variable, con una geometría interna semejante a la de la sección de un canal.

d) **Estratos en forma de cuña:**

Se trata de estratos limitados por superficies planas no paralelas entre sí, que terminan lateralmente por pérdida progresiva de espesor.

e) **Estratos lenticulares:**

Son discontinuos con el muro plano y el techo convexo. Una variante de estos son los estratos con forma biconvexa.

f) **Estratos ondulados:**

Se caracterizan por ser continuos con muro plano y techo ondulado, con estructuras de ripples de corrientes o de olas.

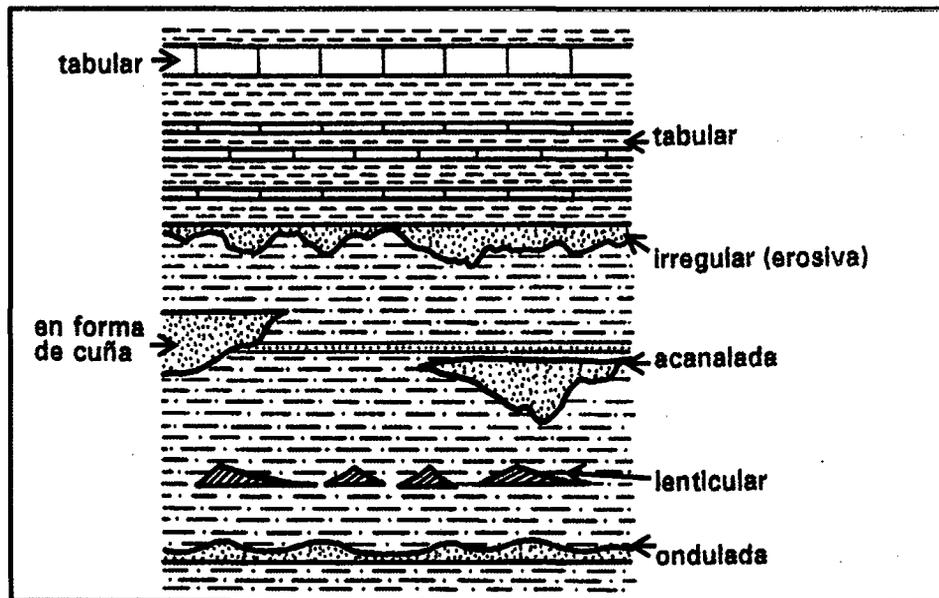


Figura N° 17: Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor.
Fuente: Vera T. 1994.

2.13.1.2 **ASOCIACIÓN DE LOS ESTRATOS**

Se puede realizar diversas clasificaciones basadas en criterios de tipo descriptivo, que en gran parte éstos representan diferentes tipos genético. Un primer aspecto a considerar es la ordenación de espesores de los estratos individuales en los conjuntos de estratos sucesivos. En la figura N° 17, se esquematizan las diversas posibilidades de ordenación de espesores y se dan los siguientes nombres:

a. **Uniforme:**

Los espesores de los estratos sucesivos tienen todos ellos unos valores análogos, con un valor real muy cercano a la media estadística de todos los espesores. (Vera Torres, 1994).

b. **Aleatorio o de espesor variable:**

Los espesores de los diferentes estratos superpuestos son muy variables y no presentan ninguna ordenación definida.

c. Estrato creciente:

Los espesores tienen una ordenación en lotes de estratos con valores de espesores crecientes hacia el techo, dentro de cada lote. Este tipo de ordenamiento también se le conoce con el nombre de secuencia negativa (Lombard, 1956).

d. Estrato decreciente:

Es el contrario del anterior, o sea, con disminución de los espesores de los estratos hacia el techo en cada lote. Este tipo de ordenamiento también se le conoce con el nombre de secuencia positiva (Lombard, 1956).

e. En haces:

Los espesores de los estratos se distribuyen por lotes de estratos de espesores uniformes dentro de cada lote y diferentes entre lotes. (Vera Torres, 1994).

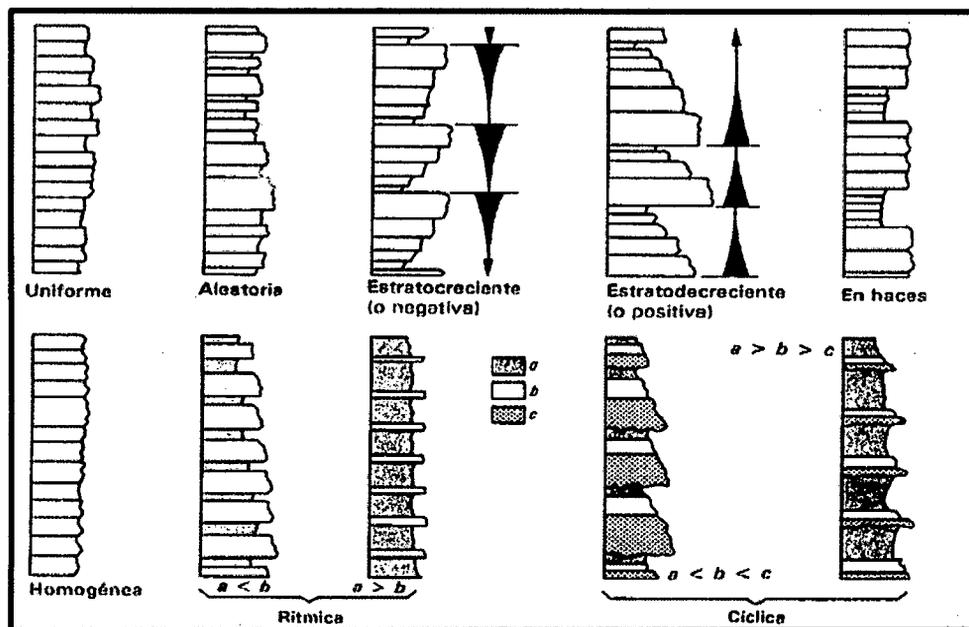


Figura N° 18: Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes (explicación en el texto). Los términos a, b y c corresponden a tres tipos litológicos, en los que a sería el término de mayor tamaño de grano (en rocas detríticas) o de mayor energía (en rocas carbonatadas).

Fuente: Vera Torres, 1994.

2.13.3 MEDIDA DE LA ESTRATIFICACIÓN

El estudio de la estratificación, bajo su aspecto geométrico, permite realizar la medida de tres valores: la dirección, que se refiere al ángulo que forma con el norte geográfico la línea de intersección de la superficie de estratificación con un plano horizontal; el buzamiento, es el ángulo que forma la superficie de un estrato con la horizontal, medido en un plano perpendicular a la dirección; y el espesor de un estrato, que es la distancia entre los planos de estratificación que lo limitan, medida perpendicularmente a ellos. En condiciones normales el espesor de un conjunto de estratos, será la distancia entre sus límites medida perpendicularmente a ellos y representa el espesor actual de los materiales sedimentados durante un determinado intervalo de tiempo.

El problema se plantea cuando la sedimentación se realiza sobre una pendiente deposicional, sobre la que los estratos se apilan lateralmente; pues si bien el espesor del conjunto de estratos valora el espesor real de los materiales sedimentados durante un lapso de tiempo, la potencia de la unidad distinguida corresponde a la altura actual que comprende dicha unidad, medida sobre la vertical del depósito en el momento de la sedimentación. A continuación se presentan dos métodos con los cuales se puede medir el espesor de los estratos; de esta manera se realiza el levantamiento de columnas estratigráficas en campo.

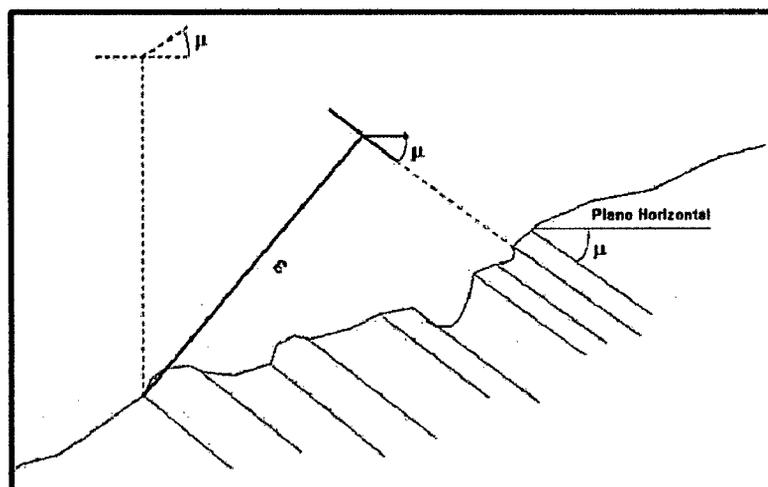


Figura N° 19: Diagrama de la medición de espesores por medio del bastón de Jacob.
 μ : buzamiento real de las capas. e : espesor real parcial de la sucesión.
Fuente: Modificado de Crompton, 1983.

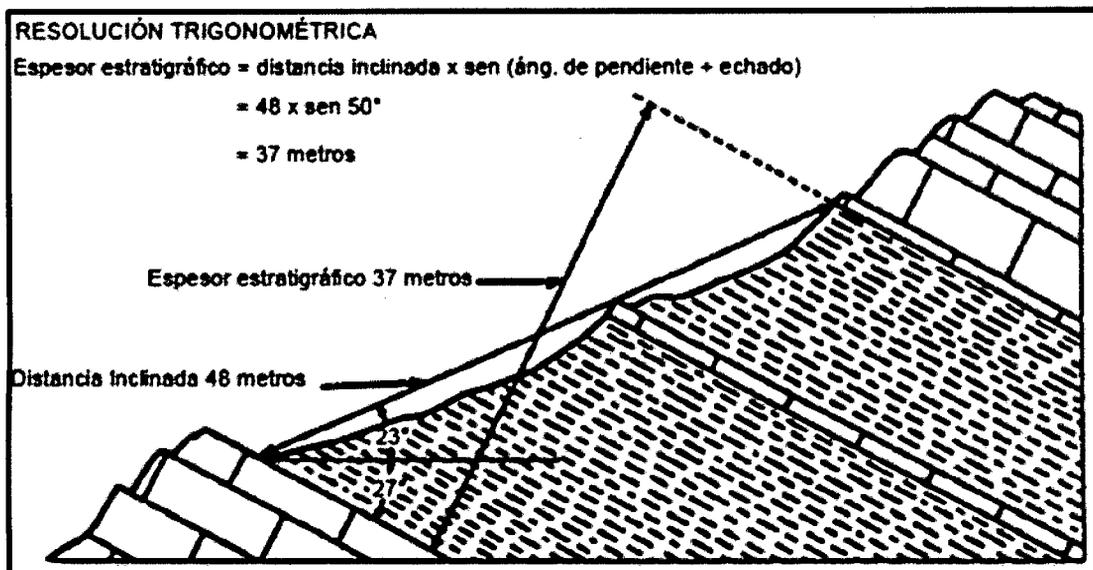


Figura N° 20: Medición de estratos inclinados a partir de un levantamiento hecho con brújula tipo Brunton y cinta.

Fuente: Krumbein y Sloss, 1969.

2.14 PALEONTOLOGÍA Y CONCEPTO DE FÓSIL

La paleontología es la ciencia que estudia la vida sobre la Tierra en el pasado geológico. La herramienta principal para este estudio lo constituyen los fósiles que se extraen de las rocas. La palabra fósil, propuesta por Plinio el Viejo (siglo I), proviene del latín *fodere*, que significa cavar la tierra, y con este término se designó durante mucho tiempo todo cuerpo extraño extraído del suelo, que incluía desde resto de organismos hasta minerales, piezas arqueológicas, etc. A finales del siglo XVIII se restringió su uso para designar únicamente los restos de seres vivos conservados en las rocas. Actualmente, fósil se define como cualquier resto de organismo o de actividad orgánica que esté contenido en el registro geológico. [R.DOMÈNECH & J.MARTINELL (1996) pág.1-6]

2.14.1 FOSILIZACIÓN

Los fósiles son considerados como entidades dinámicas que evolucionan y se modifican para mantenerse en equilibrio con el medio en que se hallan. Así, se habla de la producción de entidades mediante la muerte o la realización. Las entidades producidas

por muerte son los restos de los organismos una vez llegados al final de su vida. Las entidades producidas por realización son las originadas por la actividad propia de los organismos, pero no implican la muerte del productor. Comprenden, por ejemplo, las hojas caídas de los árboles, las pisadas, las trazas de bioerosión, etc.

Las posibilidades de fosilización de todas las entidades producidas no son las mismas, sino que dependen de una serie de factores, entre los cuales destacan:

- *Posesión o no de partes duras.* Los restos duros de los organismos (esqueleto óseo, concha, caparazón, etc.) tienen más posibilidades de fosilizar que los restos blandos.
- *Medio donde se produjo la entidad.* Los medios continentales son pre eminentemente erosivos, mientras que los medios marinos son sedimentarios. Por tanto, excepto ambientes como lagos, los ríos y las charcas, es más difícil que se preserven los restos en un medio continental que en un medio marino.
- *Enterramiento rápido.* Sea cual fuere el medio de producción, una separación rápida de la entidad y el ambiente externo favorecen su conservación.

2.14.2 TAFONOMÍA

Es la rama de la Paleontología que estudia todos los procesos que afectan un organismo o un resto producido por un organismo desde la agonía o la realización hasta que se halla en un yacimiento. A su vez, los estudios tafonómicos se pueden repartir en tres grandes apartados: Necrobiosis, Bioestratinomía y Fosildiagénesis.

2.14.2.1 NECROBIOSIS

La Necrobiosis estudia los acontecimientos que se producen durante la agonía de los organismos y las causas que conducen a la muerte, puesto que al conocerse las causas y circunstancias se obtiene valiosa información sobre el medio en el cual se hallaba el organismo.

Obviamente, tiene sentido estudiar los procesos necrobióticos sólo en el caso de las entidades producidas por muerte, no en el de las producidas por realización.

2.14.2.2 *BIOESTRATINOMÍA*

La Bioestratinomía estudia todos los procesos que pueden afectar un resto desde el momento de la muerte o realización hasta que es enterrado. Estos procesos se agrupan en tres categorías diferentes, que no son independientes entre sí, ni exclusivas:

- *Procesos físicos*, especialmente activos en medio marinos costeros. (transporte, meteorización, etc.).
- *Procesos químicos*, que actúan en especial en los medios marinos. (condiciones de Eh, pH del agua).
- *Procesos biológicos*, que se hallan tanto en medios marinos como continentales. (por propia descomposición, o por acción de otros organismos).

2.14.2.3 *FOSILDIAGÉNESIS*

Una vez que las entidades conservadas quedan aisladas del ambiente exterior puede empezar a actuar la Fosildiagénesis. Sin embargo, esto no tiene por qué ser así forzosamente, de manera que se encuentran fósiles con unas cualidades de preservación equivalentes a las del resto en el momento de la producción, o casi.

Dentro de la Fosildiagénesis cabe toda una serie de procesos que pueden actuar en momentos distintos, combinados y con ritmos variados. Esto da idea de la evolución que sufre el resto durante todo su enterramiento y hace pensar en los fósiles como entidades dinámicas, no estáticas.

Entre estos procesos cabe destacar la compactación y la fracturación por aumento del peso de los sedimentos suprayacentes o por razones tectónicas, disolución, la formación

de moldes, la recristalización, la carbonatación, la silicificación, la ferruginización (en forma de pirita, marcasita, limonita), la carbonización, la reelaboración, etc.

En las etapas finales de la Fosildiagénesis, actúa preferentemente la meteorización por agentes atmosféricos (aguas de infiltración, lluvias, viento, etc.), que afectan los estratos fosilíferos cuando ya afloran o están cerca de la superficie.

Todo el conjunto de fósiles que están en las rocas de la corteza terrestre constituyen las entidades registradas. No todas serán recolectadas, por lo cual se diferencian de las denominadas entidades obtenidas que son las que realmente se recogen en los yacimientos paleontológicos. [R.DOMÈNECH & J. MARTINELL (1996) pág. 6]

2.15 FÍLUM MOLLUSCA

2.15.1 INTRODUCCIÓN

La palabra *mollusca* procede del latín *mollis*, que significa blando, y se refiere al cuerpo del animal. Sin embargo, los moluscos se caracterizan por la posesión de un esqueleto calcáreo, generalmente externo (concha), aunque también puede ser interno o inexistente. Las formas adoptadas por este esqueleto son muy variadas y las funciones que pueden cumplir son diversas.

Por su abundancia en especies actuales, el filum Mollusca es el segundo más grande de los invertebrados, por detrás de los artrópodos. Si se considera no sólo el momento actual, sino desde la aparición de la vida en la Tierra, los moluscos superan el 10% de todas las especies animales conocidas, y su registro fósil comprende desde el Cámbrico inferior hasta la actualidad. [R.DOMÈNECH & J.MARTINELL (1996) pág. 117]

2.15.2 *SISTEMÁTICA*

En el caso de los moluscos fósiles la sistemática se ha fundamentado en las características de la concha, lo cual ha producido más de una dificultad en el momento de comparar las especies actuales con las del pasado geológico, sobre todo en aquellos casos en que las peculiaridades de las partes blandas no quedan suficientemente reflejadas en la morfología de la concha.

El filum Mollusca se divide en ocho clases con representantes actuales y dos exclusivamente fósiles, como se observa en la Figura N° 21:

Tabla 10-1. Filum Mollusca

Clase Aplacophora	(Cámbrico superior-actualidad)
Clase Solenogastrea	(Cámbrico superior-actualidad)
Clase Rostroconchia	(Cámbrico inferior-Pérmico)
Clase Polyplacophora	(Cámbrico superior-actualidad)
Clase Bivalvia	(Cámbrico inferior-actualidad)
Clase Monoplacophora	(Cámbrico inferior-actualidad)
Clase Scaphopoda	(Ordovícico medio-actualidad)
Clase Gastropoda	(Cámbrico inferior-actualidad)
Clase Cephalopoda	(Cámbrico superior-actualidad)
Clase Hyolitha	(Cámbrico inferior-Pérmico superior)

Figura N° 21: Filum Mollusca.
Fuente: R. Domènech (1996)

2.15.3 *CLASE BIVALVIA*

2.15.3.1 *INTRODUCCIÓN*

A la clase Bivalvia se la denomina también Lamellibranchia o Pelecypoda, en referencia respectivamente, a la forma de las branquias de la mayoría de los representantes del grupo y al pie con aspecto de hoja de hacha que tienen otros. Sin embargo, la única

característica común a todos los individuos de la clase es la posesión de un esqueleto externo carbonatado formado por dos valvas.

Los bivalvos son moluscos que sólo habitan en medios acuáticos. Su cuerpo presenta simetría bilateral, comprimida lateralmente, y una concha bivalvada que cierra por acción de músculos aductores y que en general, es suficientemente grande para albergar el animal entero en su interior.

2.15.3.2 *MORFOLOGÍA*

La concha de los bivalvos Figura N° 22, está formada por tres partes: dos valvas calcáreas (derecha e izquierda) comprimidas lateralmente y un ligamento elástico (formado por conquiolina) que las une dorsalmente. El conjunto crece por acreción de carbonato cálcico alrededor de los márgenes de las valvas. Este crecimiento se halla sujeto a variaciones, tanto ontogenéticas como filogenéticas. Cada valva está formada a su vez por tres capas: la externa no calcificada (periostraco) y dos internas aragoníticas o calcíticas (ostraco). La microestructura de las capas carbonatadas es muy variada (nacarada, foliada, entrecruzada, homogénea). En comparación con la concha también bivalvada de los brachiópodos, debe señalarse que la orientación de éstos es dorsal-ventral, mientras que en los bivalvos es derecha-izquierda Figura N° 23.

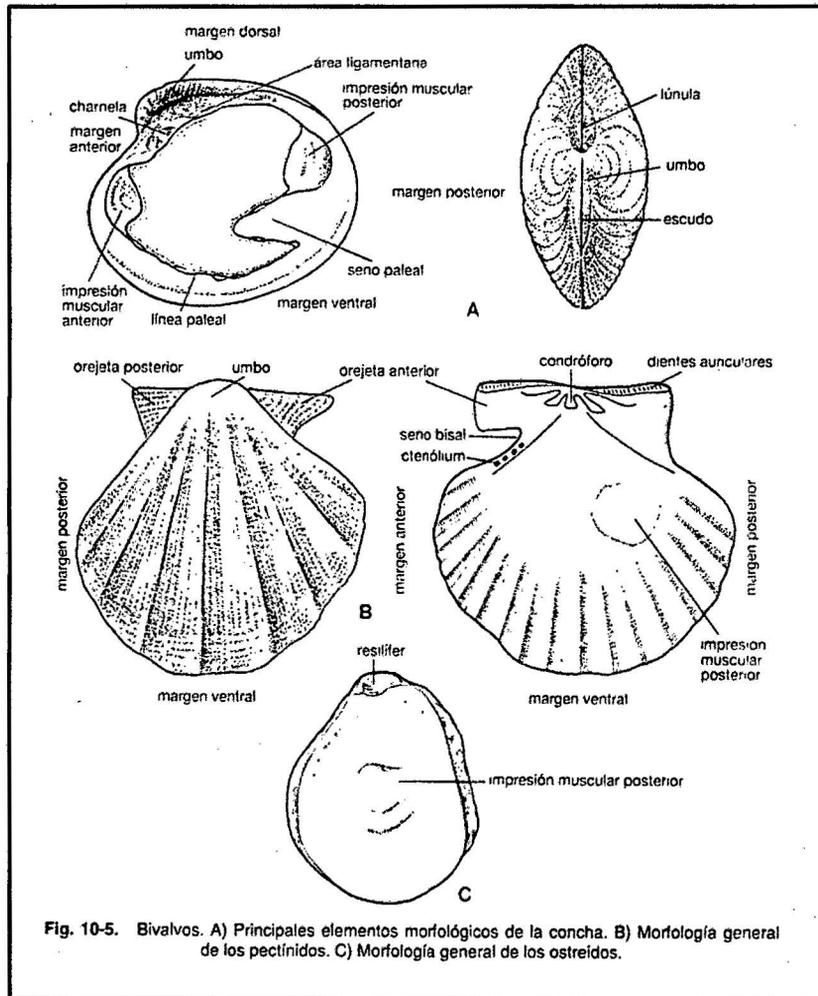


Figura N° 22: Morfología general de los bivalvos.
Fuente: J. Martinell (1996).

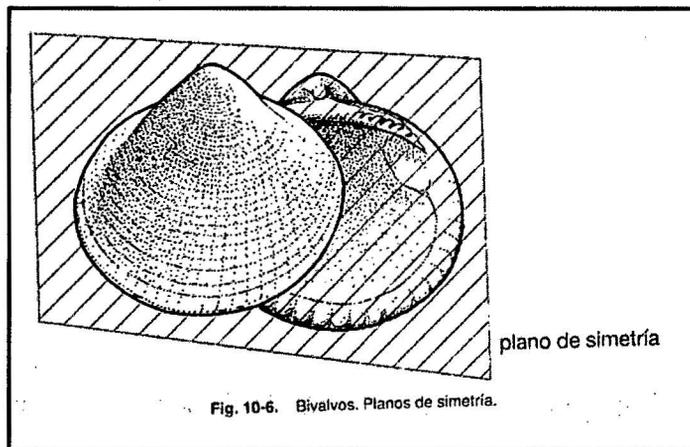


Figura N° 23: Planos de simetría de los bivalvos.
Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).

A. CARACTERÍSTICAS EXTERNAS

Las valvas se hallan por los márgenes ventral, dorsal, anterior y posterior. La forma general se describe mediante términos geométricos (circular, subcircular, subcuadrada, trigonal, suboval, oval, elíptica, romboidal, etc.) o mediante nombres que recuerdan géneros con una morfología bien conocida (mitiliforme, modioliforme, nuculaniforme, pectiniforme).

La charnela ocupa una posición dorsal, originándose las áreas posterior y anterior en relación con el eje de dicha charnela. Cuando una valva es el reflejo especular de la otra, la concha se describe como equivalva; en el caso de que sean diferentes se habla de concha inequivalva.

Cuando las áreas anterior y posterior de la valva tienen aproximadamente las mismas dimensiones, la concha es equilateral; si estas regiones difieren considerablemente, es inequilateral. Las zonas de la concha que rodean el centro de crecimiento de cada valva constituyen el umbo o área umbonal. Estas zonas, generalmente elevadas e incluso convexas, presentan a menudo trazas de valva larvaria o prodisoconcha. El resto de la concha recibe el nombre de teleoconcha. Figura N° 24.

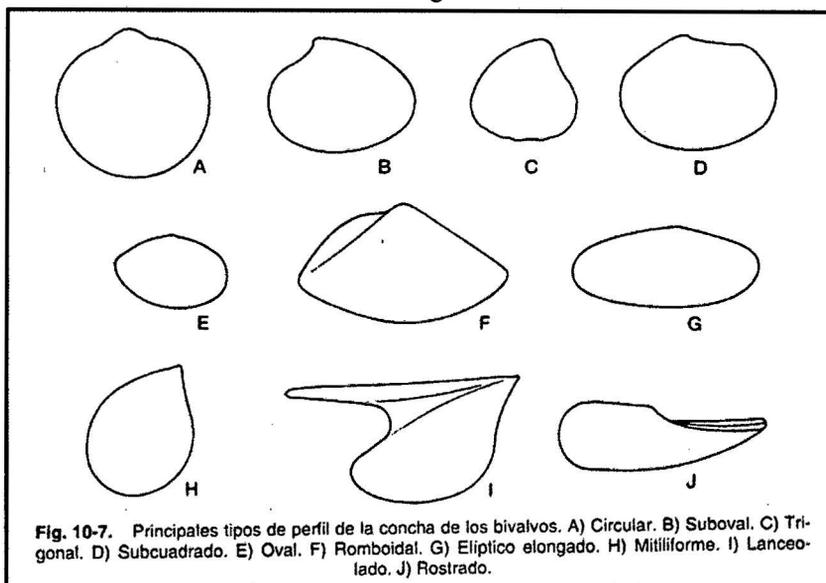


Figura N° 24: Características externas de los bivalvos.
Fuente: R. Domènech (1996).

B. CARACTERÍSTICAS INTERNAS

Por su parte interna, las valvas son lisas o más o menos onduladas, a menudo como reflejo de la ornamentación externa. Las impresiones musculares que se hallan en el interior de la concha Figura N° 25-A, proporcionan a menudo información valiosa sobre la distribución de las partes blandas y del hábito de vida de los bivalvos, ya que la orientación espacial de muchas otras características del cuerpo del animal están relacionadas directamente con estos puntos de referencia. Las mayores impresiones musculares en la superficie interna de las conchas son las producidas por los músculos aductores. Típicamente hay dos músculos aductores, uno posterior y uno anterior. Ésta es la denominada condición dimiaria. Figura N° 26.

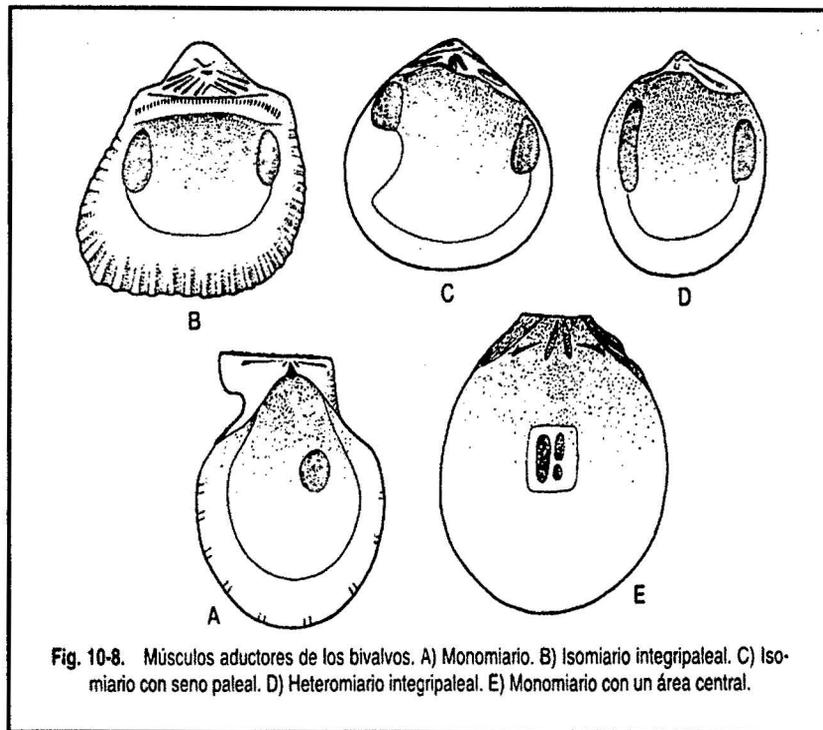


Fig. 10-8. Músculos aductores de los bivalvos. A) Monomiario. B) Isomiario integripaleal. C) Isomiario con seno paleal. D) Heteromiario integripaleal. E) Monomiario con un área central.

Figura N° 25: Características internas de los bivalvos.
Fuente: J.Martinell (1996).

C. CHARNELA

La charnela está situada en la cara interna de la región dorsal, inmediatamente por debajo de los umbos, y funciona durante la abertura y el cierre de la concha. A lo largo de la charnela se encuentran los dientes, cuyo número y disposición es un rasgo taxonómico de gran importancia. Los dientes de la charnela garantizan que las valvas estén perfectamente encajadas cuando la concha está cerrada e impiden movimientos rotacionales.

Los diferentes tipos de charnela se clasifican dentro de los grupos siguientes Figura N° 25.

- **Taxodonta:** larga y estrecha, con dientes cortos y abundantes, similares entre sí (Arca, Glycymeris, Anadara, Nucula).
- **Actinodonta:** sólo presente en las formas más primitivas; está formada por dientes alargados a partir del umbo.
- **Esquizodonta:** presenta un diente bífido o partido (Trigonia).
- **Heterodonta:** dispone de dos tipos de dientes: cardinales – bajo el umbo – y laterales (Venus, Tellina, Chamelea, Acanthocardia). La dentición heterodonta ha sido codificada y se usa para la sistemática y para establecer, por ejemplo relaciones filogenéticas.
- **Paquidonta:** dientes muy gruesos (Hippurites).
- **Isodonta:** dos dientes y dos fosetas en cada valva, que encajan entre sí (Spondylus).
- **Disodonta:** dientes muy pequeños y próximos al umbo (Mytilus).
- **Criptodonta:** dientes muy poco marcados; es típica de formas primitivas, pero también aparece en grupos actuales (Pecten, Corbula).

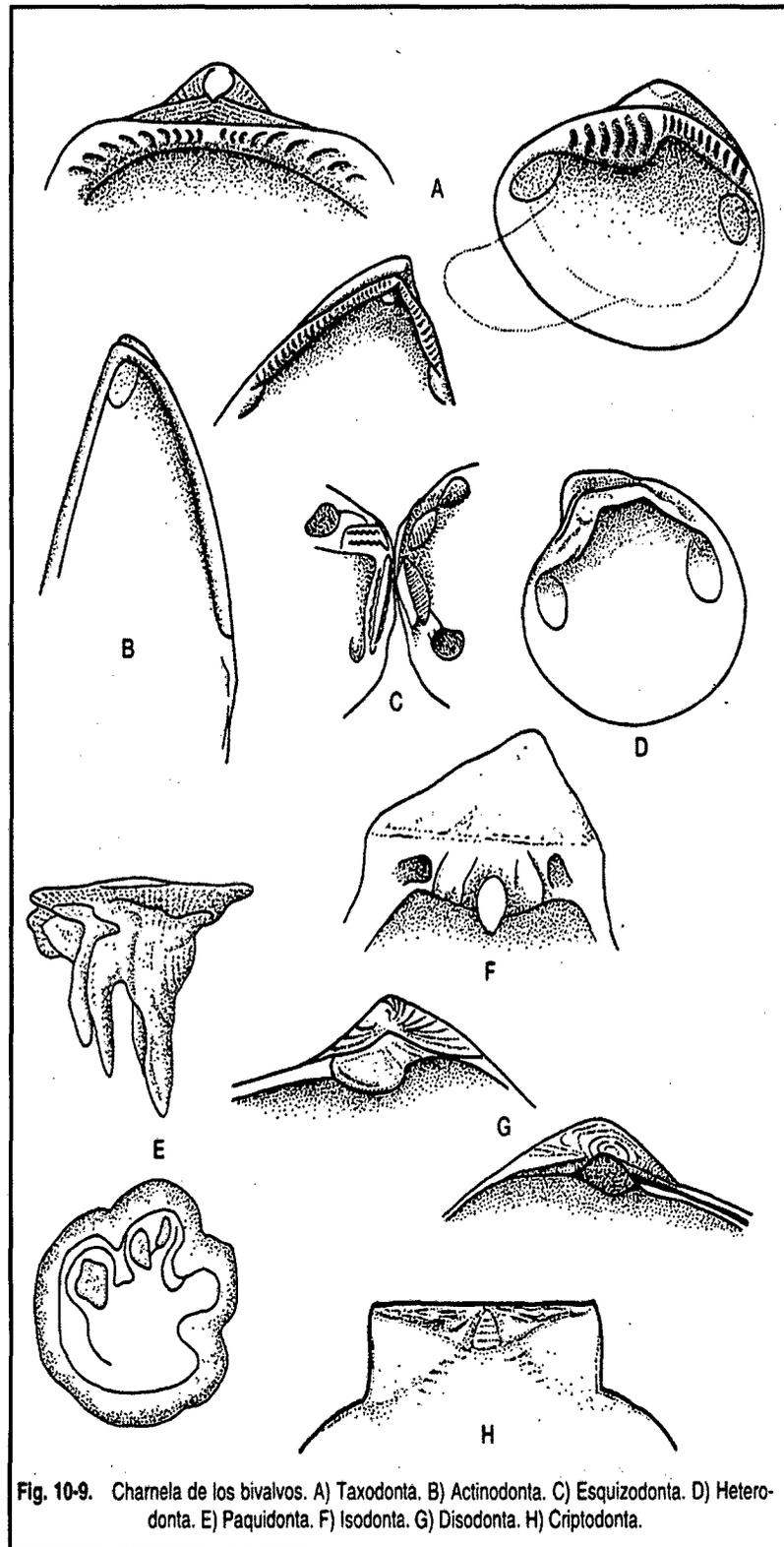


Fig. 10-9. Charnela de los bivalvos. A) Taxodonta. B) Actinodonta. C) Esquizodonta. D) Heterodonta. E) Paquidonta. F) Isodonta. G) Disodonta. H) Criptodonta.

Figura N° 26: Charnela de los bivalvos.
Fuente: J.Martinell & R.Domènech (1996).

2.15.3.3 *ORIENTACIÓN DE LAS VALVAS*

La mayoría de los caracteres internos y externos de las conchas de los bivalvos sirven para su orientación, es decir, para distinguir el margen anterior del posterior y, así, la valva derecha de la izquierda. Estos conocimientos resultan fundamentales en estudios paleontológicos posteriores que impliquen el uso de bivalvos, ya que proporcionan valiosos datos paleobiológicos y tafonómicos.

La concha de un bivalvo es simétrica, al igual que lo son las partes blandas de su interior. Según la posición del animal dentro de la concha, se considera una parte anterior (la más cercana a la boca) y otra posterior (la más cercana al ano) Figura N° 26.

En general, el margen posterior se identifica más fácilmente: el margen posterior está más desarrollado que el anterior (excepto en algunos géneros, como *Donax* o *Nucula*); en la mayoría de los casos el ligamento es opistodético; la marca de inserción del músculo posterior es mayor que la del anterior en las formas heteromiarias, y en las monomiarias corresponde a la del posterior; el seno paleal es siempre posterior; el escudo es posterior. Por otra parte, los umbos son mayoritariamente del tipo prosógiro, es decir, están inclinados hacia la parte anterior. Una vez determinado el margen posterior, se sitúa la concha de la forma siguiente: los umbos hacia arriba y el margen posterior contra el observador, quedando entonces el margen anterior hacia delante. La valva derecha estará a la derecha del observador y la izquierda, a su izquierda.

2.15.3.4 *ECOLOGÍA Y PALEOECOLOGÍA*

Los bivalvos son uno de los grupos de invertebrados más extensos del Fanerozoico. Limitados a vivir en medios acuáticos (fundamentalmente marinos, pero también de aguas dulces), han ocupado gran variedad de hábitats y experimentado un incremento relativamente constante en diversidad. Por este motivo, así como por su presencia abundante en la mayoría de yacimientos marinos y por la gran cantidad de estudios existentes sobre bivalvos actuales, constituyen uno de los grupos fósiles más útiles en paleontología.

2.15.3.4.1 FORMAS DE VIDA Y HÁBITATS

Casi todos los bivalvos habitan en fondos marinos, es decir, son bentónicos. Sus formas de vida se pueden definir según las categorías siguientes, Figura N° 27:

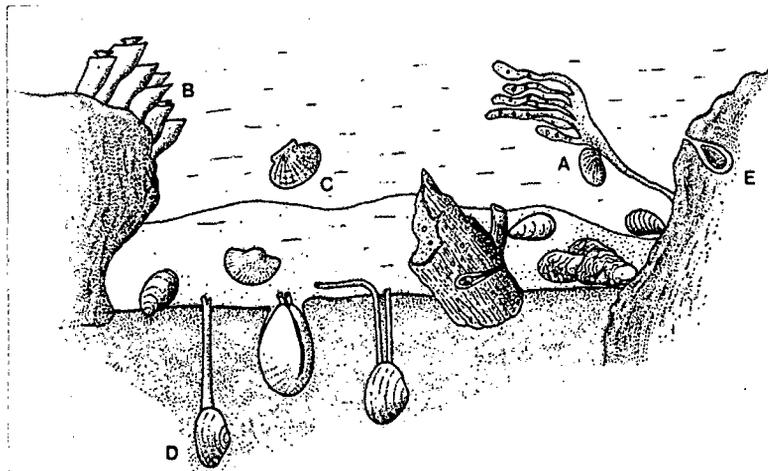


Fig. 10-10. Esquema de un fondo marino, donde se han representado las principales formas de vida de los bivalvos. A) Bisados. B) Cementados. C) Nadadores. D) Excavadores. E) Perforantes.

Figura N° 27: Hábitats de los bivalvos.
Fuente: R.Domènech (1996).

- Posición de vida. Epifáunicos (habitan sobre el sustrato), infáunicos (habitan en el interior del sustrato) y semiinfáunicos (viven parcialmente enterrados).
- Forma de locomoción y de fijación. El sustrato puede ser blando o duro. A partir de aquí, los bivalvos se clasifican en grupos ecológicos significativos.
- Tipo de alimentación. Según la alimentación los bivalvos se clasifican en dos grupos principales: suspensívoros (absorben el fitoplacton contenido en el agua) y detritívoros (se alimentan de bacterias y restos orgánicos que recogen de la superficie del sedimento).

La mayoría de los bivalvos corresponden a la categoría de los suspensívoros. Un tercer tipo de alimentación, la carnívora, se presenta en algún grupo muy concreto (p.ej., Cuspidaria). Otros bivalvos reciben energía gracias a la simbiosis con dinoflagelados, como es el caso de Tridacna.

2.15.3.5 SISTEMÁTICA

Las más usadas en Paleontología se basan fundamentalmente en la estructura de la concha, la charnela, los músculos aductores, el ligamento, la línea paleal y las branquias. La que aquí se sigue considera, especialmente, las relaciones filogenéticas entre los diferentes grupos. Figura N° 28. Esto la hace especialmente valiosa para el registro fósil. Las sistemáticas más difundidas entre los neontólogos se basan sobre todo en las partes blandas de los organismos, y por este motivo existen ciertas diferencias entre ellas.

Tabla 10-2. Clase Bivalvia

Subclase	Paleotaxodonta	
	Orden Nuculoida	(Cámbrico inferior-actualidad)
	Orden Solemyoida	(Devónico-actualidad)
Subclase	Isofilibranchia	
	Orden Mytiloida	(Cámbrico superior-actualidad)
	Orden Modiomorphoida	(Cámbrico inferior-actualidad)
Subclase	Heteroconchia	
	Orden Unionoida	(Devónico medio-actualidad)
	Orden Trigonoida	(Triásico medio-actualidad)
	Orden Veneroida	(Ordovícico medio-actualidad)
	Orden Myoida	(Carbonífero-actualidad)
	Orden Hippuritoida	(Silúrico medio-Cretácico superior)
Subclase	Pteriomorphia	
	Orden Arcoida	(Ordovícico inferior-actualidad)
	Orden Pteroida	(Ordovícico-actualidad)
Subclase	Anomalodesmata	
	Orden Pholadomyoida	(Ordovícico inferior-actualidad)

**Figura N° 28: Sistemática de la clase Bivalvia.
Fuente: J. Martinell (1996).**

2.15.3.5.1 SUBCLASE PALEOTAXODONTA

Los paleotaxodontos, Figura N° 29-A, son los bivalvos más primitivos y los más antiguos conocidos en el registro fósil (Cardiolaria, Nuculites, Cadonia). Presentan conchas equivalvas, inequilaterales y de composición aragonítica. La microestructura de la concha es variable, pero a menudo tienen una capa interna nacarada.

La mayoría presenta charnela Taxodonta, ligamento interno anfidético, son isomiarios y no se observan seno paleal. Hay sin embargo excepciones a todas estas características. Actualmente todos viven en medios marinos y tienen forma de vida infáunica (Nucula, Yoldia). La mayoría es detritívora.

2.15.3.5.2 SUBCLASE ISOFILIBRANCHIA

Los isofilibranchios, Figura N° 29-B, tienen conchas equivalva, claramente calcítica y/o aragonítica (Modiolus, Atrina, Mytilus). Suelen presentar la capa interna nacarada. Los umbos de las conchas son prosógiros en la mayoría y la charnela no tiene dientes o presenta unos pequeños bajo el umbo o bien situados anterior o posteriormente. El ligamento suele ser externo y opistodético. La mayoría son anisomarios, pero algunos son monomarios. No presentan seno paleal.

Casi todos los isofilibranchios son marinos o de aguas salobres, aunque también los hay de agua dulce. Básicamente presentan un hábito de vida epibentónico, son sésiles y viven adheridos al sustrato mediante un biso bien desarrollado. Algunas especies son semiinfáunicas, otras ocupan cavidades, perforan en la roca o son comensales. La mayoría vive en aguas poco profundas de la zona fótica mientras que otros son intermareales.

2.15.3.5.3 SUBCLASE HETEROCONCHIA

Los heteroconquios, Figura N° 30-C, tienen la concha equivalva inequilateral, normalmente aragonítica y de microestructura variable. Los umbos suelen ser prosógiros. Las charnelas están bien desarrolladas, siendo la mayoría de tipo heterodonto. El ligamento es principalmente externo y opistodético. Los heteroconquios tienen por regla general dos impresiones musculares de dimensiones similares y la línea paleal puede, o no, presentar seno. La mayoría de los heteroconquios son marinos, pero casi todos los bivalvos de agua dulce pertenecen a esta subclase. El hábito de vida dominante en el grupo es infáunico, pero algunos pueden perforar, otros ocupan cavidades o se adhieren al sustrato mediante un biso o por cementación. La mayoría de ellos son suspensívoros y viven en aguas someras, algunos son intermareales y unas cuantas especies se hallan a profundidades de 4800 m. Su principal radiación se produjo en el Mesozoico y actualmente son los bivalvos más diversificados (Trigonia,

Mactra, Tellina, Donax, Arctica, Corbicula, Jouannetia, Circomphalus, Corbula, Dreissena). Un grupo concreto, el de los rudistas, tuvo un papel principal en los medios de plataforma del Cretáceo.

2.15.3.5.4 SUBCLASE PTERIOMORPHIA

Los pteriomorfos, Figura N° 30-D, presentan conchas inequivalvas de composición aragonítica y/o calcítica (Arca, Anadara, Glycymeris, Inoceramus, Daonella, Ostrea, Exogyra, Gryphaea, etc.). Su principal característica morfológica reside en los lóbulos, aurículas o alas que a menudo desarrollan a ambos lados de los umbos. La mayoría de las especies presentan biso en estado adulto y otras son cementantes. Las charnelas son muy variables, y pueden ser de tipo heterodonto, actinodonto, taxodonto o no tener dientes. Normalmente son anisomiaros y carecen de seno paleal. La mayoría de los pteriomorfos son marinos, algunos salobres y unos cuantos viven en agua dulce. La mayoría corresponde a la epifauna o a la semiinfauna y tiene hábito sésil. Algunos ocupan cavidades preexistentes, otros perforan y otros excavan. Incluso existen algunas formas con capacidad para la natación. Todos son suspensívoros; la mayoría vive en condiciones marinas de poca profundidad, aunque algunas especies habitan en la zona abisal.

2.15.3.5.5 SUBCLASE ANOMALODESMATA

La concha de los anomalodesmatos, Figura N° 30-E, puede ser corta o alargada, equivalva en las formas primitivas e inequivalva en las más modernas (Cuspidaria). La composición es de aragonito, con una capa interna nacarada y una externa prismática. Sus charnelas son gruesas pero no tienen dientes, y el ligamento suele ser opitodético y externo. En algunos casos tienen condróforo, normalmente son isomiaros y presentan seno paleal. La superficie externa de las conchas suele presentar una microornamentación de gránulos y espinas. Todas las especies son marinas, la mayoría infáunica y suspensívora. Algunas especies presentan hábito alimentario carnívoro. Actualmente habitan desde la zona litoral hasta la abisal.

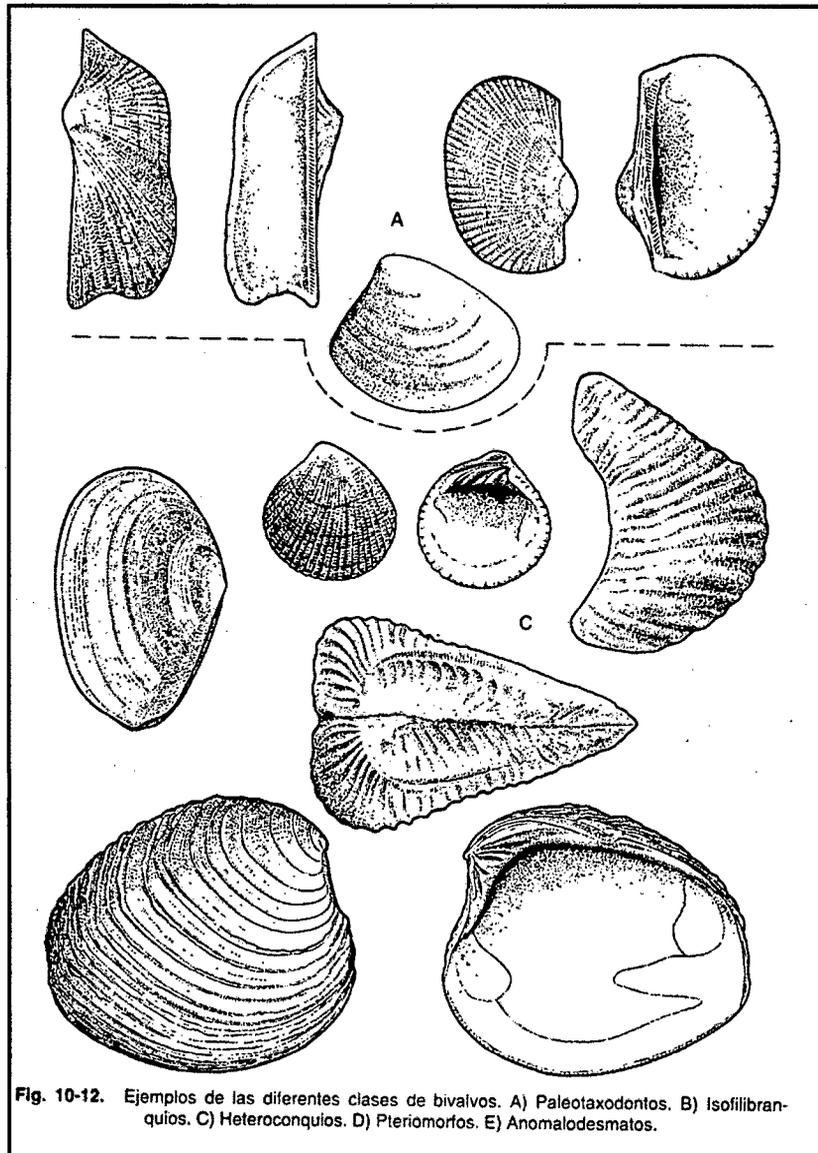


Fig. 10-12. Ejemplos de las diferentes clases de bivalvos. A) Paleotaxodontos. B) Isofilibranquios. C) Heteroconquios. D) Pteriomorfos. E) Anomalodesmatos.

Figura N° 29: Subclases de la clase Bivalvia.
Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).

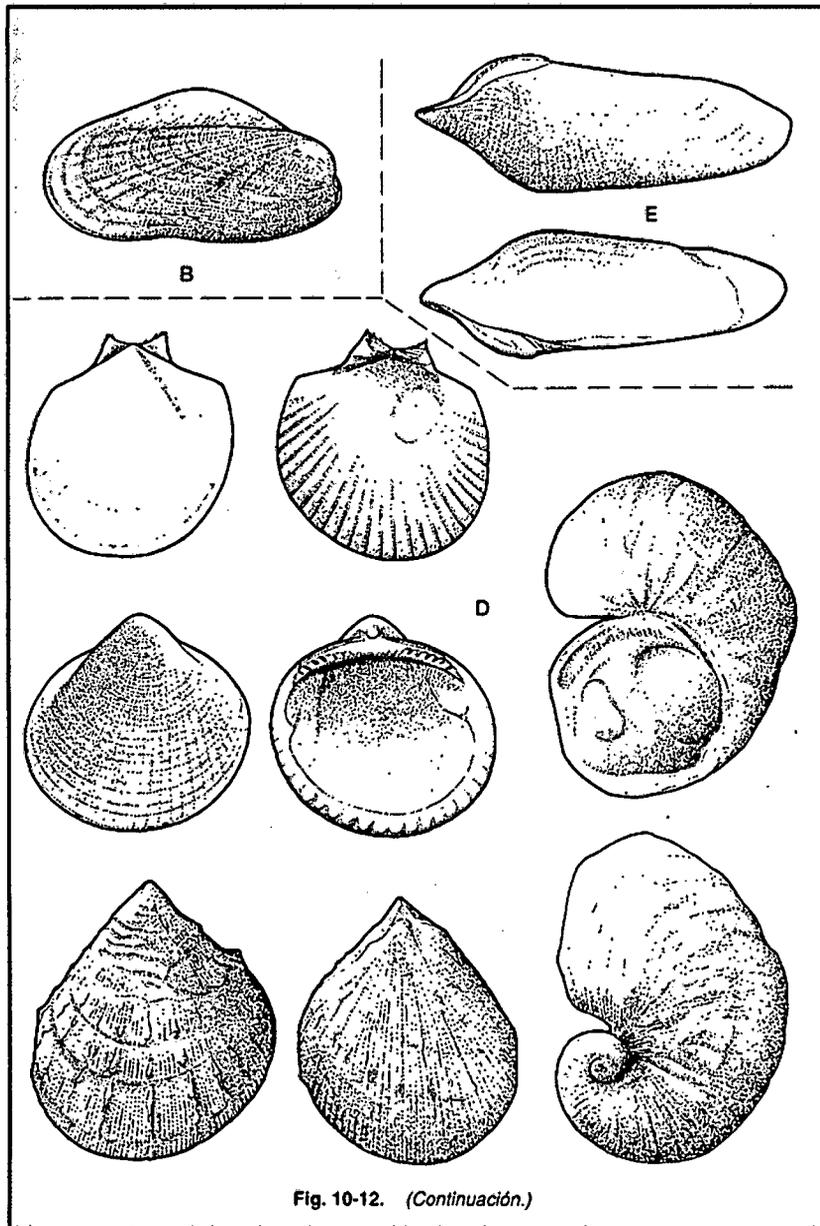


Figura N° 30: Subclases de la clase Bivalvia.
Fuente: J.Martinell & R. Domènech (1996).

2.15.4 CLASE GASTRÓPODA

2.15.4.1 INTRODUCCIÓN

Los gasterópodos son moluscos generalmente asimétricos, casi todos con una concha externa enrollada en espiral. La característica común a todos ellos es que la masa visceral sufrió un proceso de torsión durante la evolución de la clase. Como consecuencia, el ano y los riñones descargan en la parte anterior. Los gasterópodos tienen sexos separados, aunque algunos grupos presentan hermafroditismo simultáneo. La dispersión estratigráfica de los gasterópodos va desde el Cámbrico hasta la actualidad; son abundantes y se encuentran representados en la mayor parte de los ambientes sedimentarios. Por este motivo, así como por las características de la concha –donde quedan marcadas todas las vicisitudes de la vida del organismo- constituyen un material excelente para los estudios paleoecológicos y bioestratigráficos.

2.15.4.2 MORFOLOGÍA

Los gasterópodos presentan una concha calcárea de una sola pieza, generalmente aragonítica y formada por 3 o 4 capas. El externo más estrecho de la concha está cerrado y carece de particiones internas. El crecimiento, como en todos los moluscos, se produce por acreción de capas sucesivas en el extremo más nuevo. Se puede considerar la concha de los gasterópodos como un tubo cónico, cerrado por su extremo apical (ápice) y abierto por el opuesto, por donde crece y aumenta progresivamente de diámetro; Figura N° 31. Este tubo recibe el nombre de helicono. El agujero del extremo se denomina abertura. A cada enrollamiento completo del helicono se lo denomina vuelta; en muchas conchas, cada enrollamiento cubre parte del precedente, y entonces el término vuelta se refiere sólo a la parte visible de cada enrollamiento.

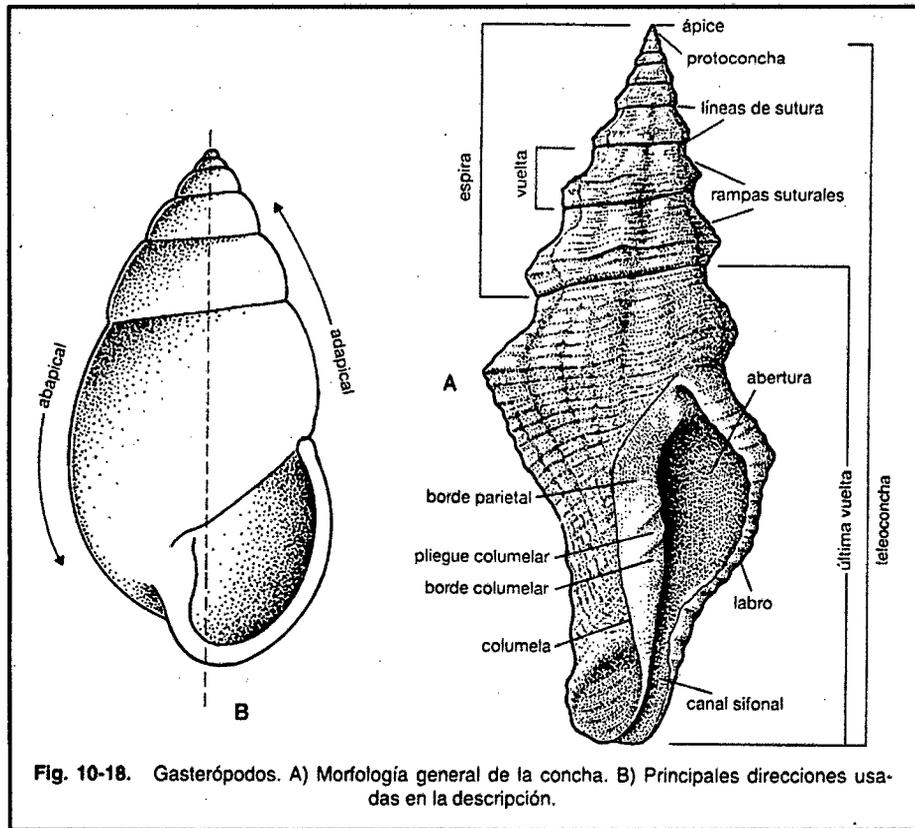


Fig. 10-18. Gasterópodos. A) Morfología general de la concha. B) Principales direcciones usadas en la descripción.

Figura N° 31: Morfología de los Gasterópodos.
Fuente: R.Domènech & J.Martinell (1996).

2.15.4.3 ORIENTACIÓN DE LA CONCHA

Las direcciones de las conchas de los gasterópodos, Figura N° 31-B, tienen interés para situar espacialmente los distintos elementos morfológicos. Por tanto, se recomienda usar los siguientes términos en la descripción: adapical (hace referencia a la dirección en sentido hacia el ápice); abapical (designa la dirección en sentido hacia la base); adaxial (describe la dirección en sentido hacia el eje de enrollamiento); abaxial (se refiere a la dirección en sentido hacia la parte más alejada del eje).

Cuando se dispone la concha de un gasterópodo con el ápice dirigido hacia arriba, la mayoría de las veces la abertura queda a la derecha del observador; el enrollamiento del helicono es en la dirección de las agujas del reloj y se dice que la concha es diestra o dextrógira. Cuando el enrollamiento es a la inversa, la abertura quedará a la izquierda del observador y entonces la concha se considera siniestra o levógira. Figura N° 32.

2.15.4.4 *CARACTERÍSTICAS EXTERNAS*

El conjunto de las vueltas iniciales, segregadas por el individuo juvenil, se denomina protoconcha. Normalmente –excepto en las formas terrestres y las de agua dulce-, se observa discontinuidad entre estas vueltas y las del adulto, que en conjunto reciben el nombre de teleoconcha. El cambio puede estar marcado por el inicio o a la modificación en la ornamentación o por una dilatación. Si las vueltas de la protoconcha se enrollan en una dirección diferente a la del resto de vueltas, se las califica de heterostróficas. Si tienen pocas vueltas son paucispirales; si tienen muchas, son multispirales. Figura N° 32. La sutura es la línea de contacto entre dos vueltas (ella misma forma un espiral si se considera la concha en su conjunto). Se denomina rampa sutural a una banda diferenciada de la vuelta más o menos plana que, en algunas conchas, sigue a la sutura de las vueltas más próxima al ápice.

En muchas conchas la presencia de un sifón inhalante origina una discontinuidad del margen de la abertura en este punto. Entonces la concha es sinfonostomada. Figura N° 33-A/B. A veces el entalle correspondiente al sifón está al final de un alargamiento de la abertura más o menos estrecho y largo, conocido como canal sifonal.

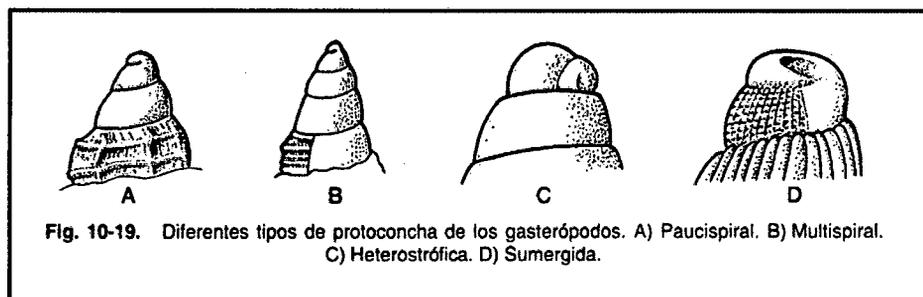


Figura N° 32: Tipos de protoconcha de los Gasterópodos.
Fuente: J. Martinell (1996).

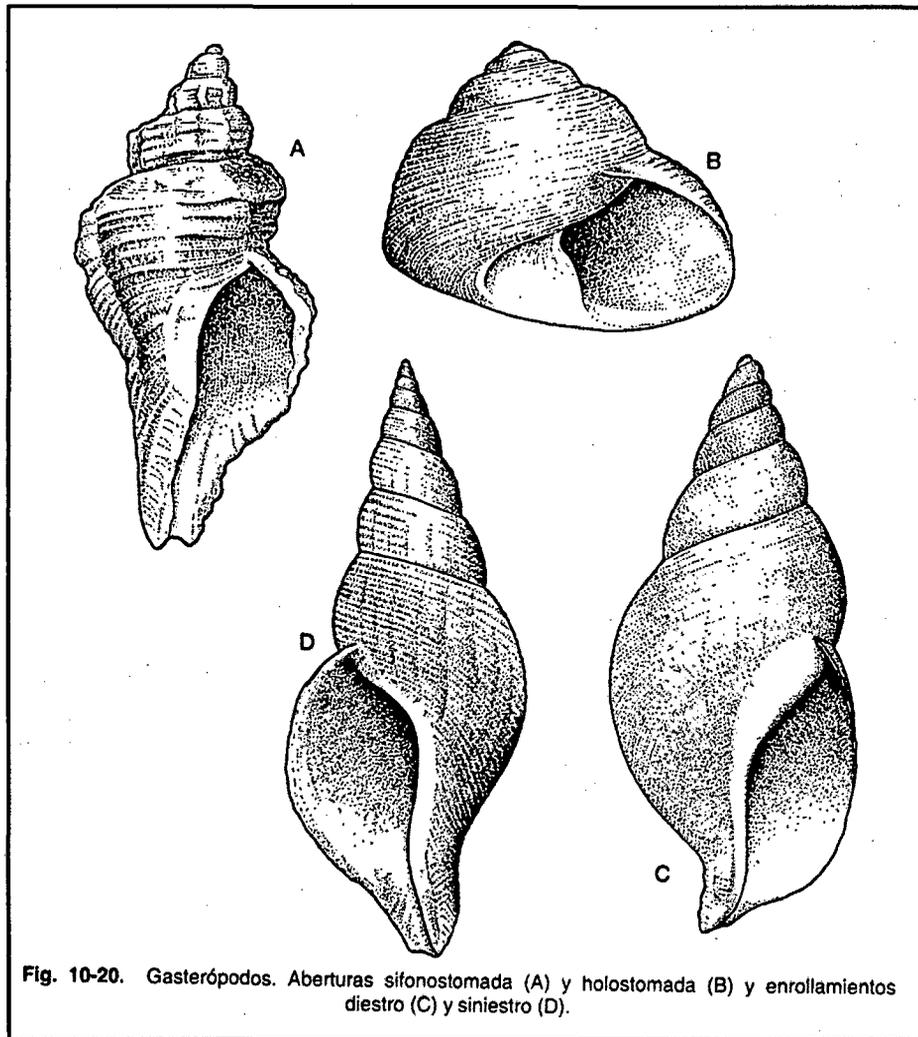


Fig. 10-20. Gasterópodos. Aberturas sifonostomada (A) y holostomada (B) y enrollamientos diestro (C) y siniestro (D).

Figura N° 33: Características externas de los Gasterópodos.
Fuente: R. Domènech (1996).

2.15.4.5 *LÍNEAS DE CRECIMIENTO Y ORNAMENTACIÓN*

Las líneas de crecimiento pueden ser perpendiculares a las suturas, denominándose ortoclinas; pueden estar inclinadas en el sentido del crecimiento, llamándose entonces prosoclinas, y en sentido contrario, en cuyo caso son opistoclinas. Pueden también estar arqueadas según el crecimiento, denominándose prosocírticas, en sentido contrario, siendo entonces opistocírticas. Figura N° 34.

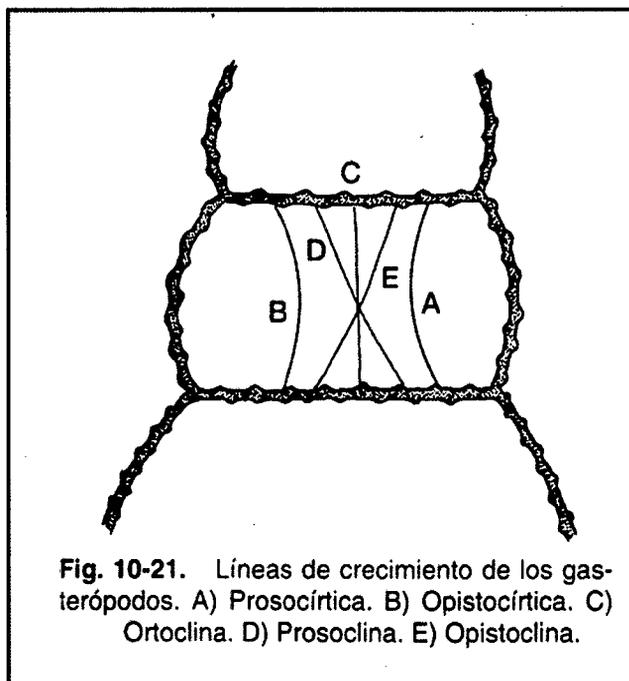


Figura N° 34: Líneas de crecimiento de los Gasterópodos.
Fuente: J. Martinell (1996).

La ornamentación de la concha de los gasterópodos es muy variable; hay especies con la concha prácticamente lisa, y otras con espinas y cordones espirales que tapizan toda su superficie (caso de los murícidos). Los elementos morfológicos más comunes que forman la ornamentación de los gasterópodos son los cordones espirales, las cóstulas axiales, los tubérculos y las espinas. Figura N° 35.

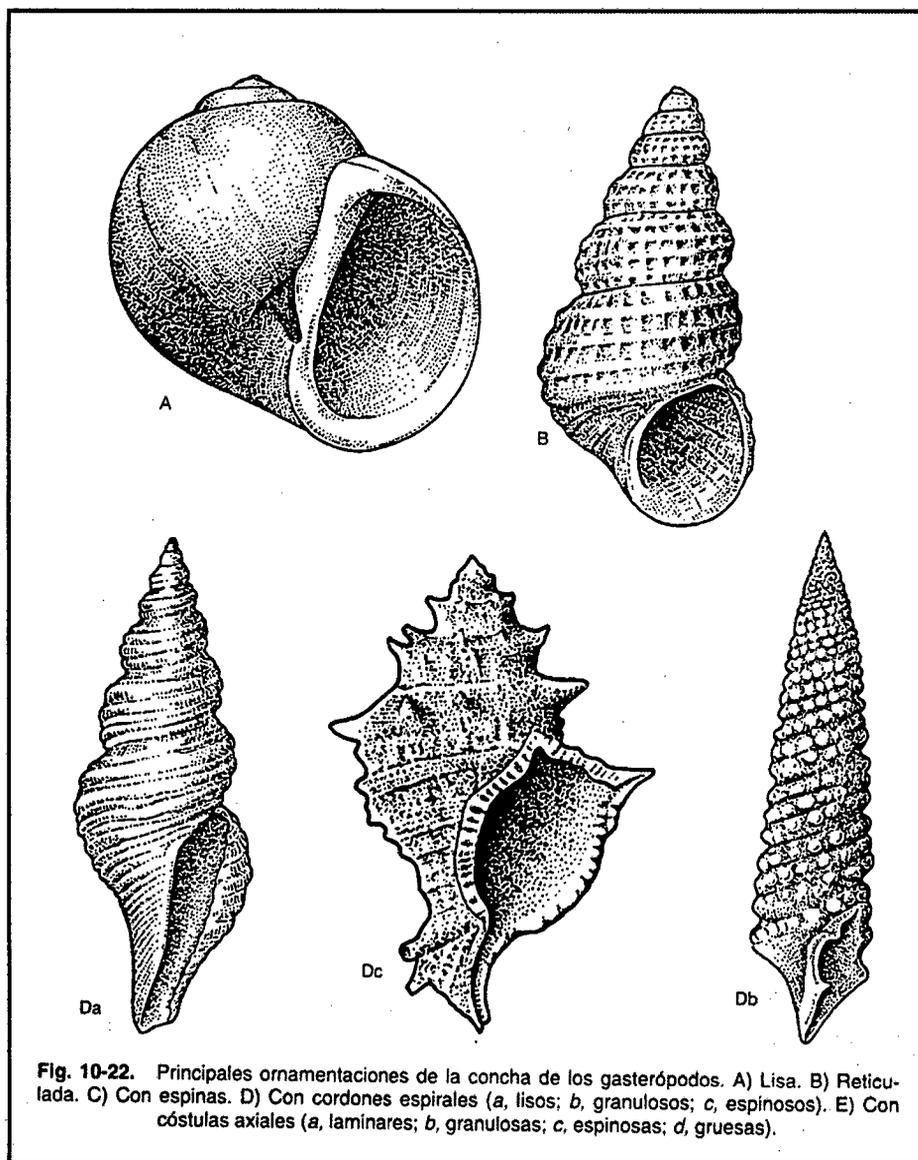


Fig. 10-22. Principales ornamentaciones de la concha de los gasterópodos. A) Lisa. B) Reticulada. C) Con espinas. D) Con cordones espirales (a, lisos; b, granulados; c, espinosos). E) Con cóstulas axiales (a, laminares; b, granuladas; c, espinosas; d, gruesas).

Figura N° 35: Principales ornamentaciones de los Gasterópodos.
Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).

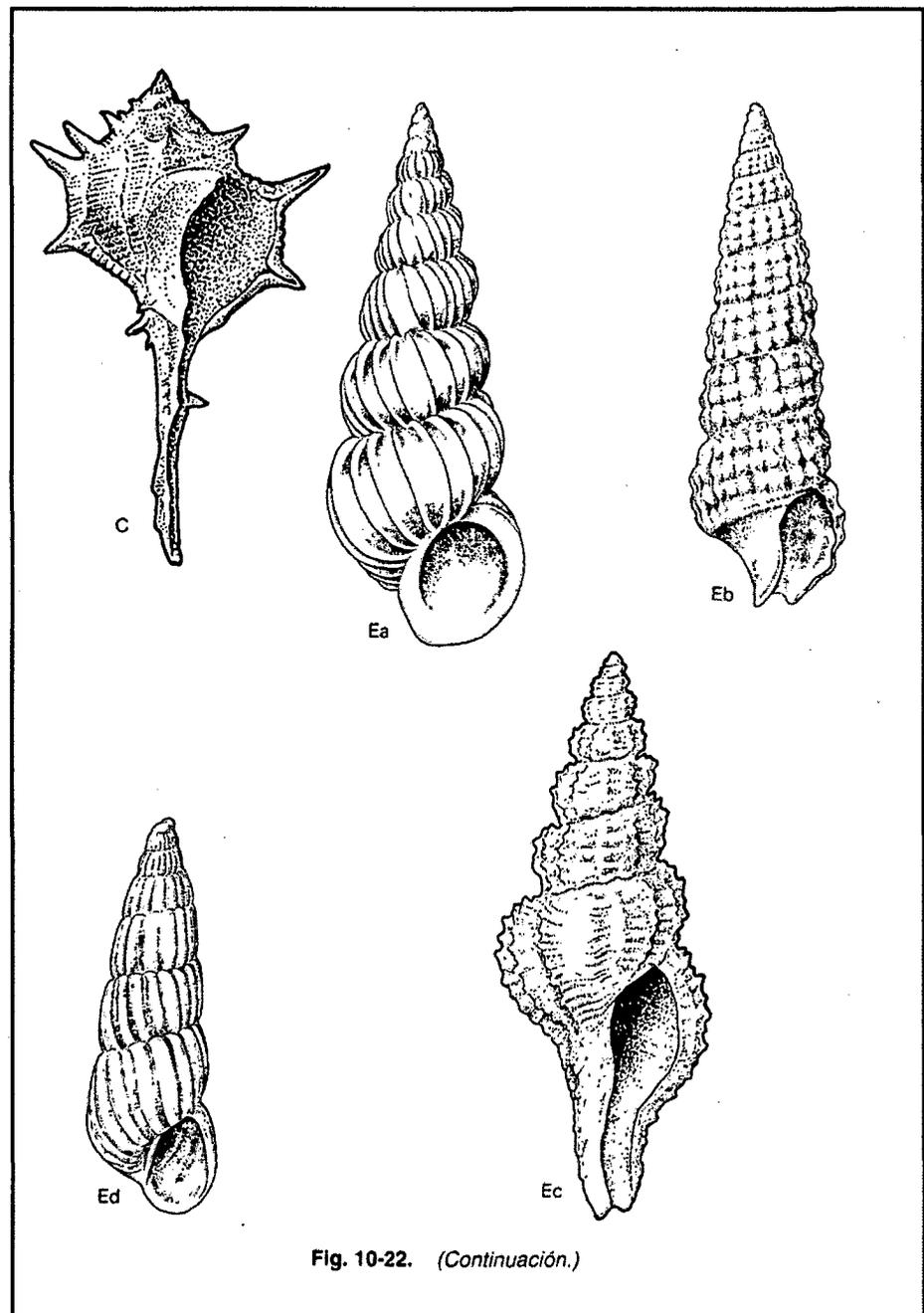


Fig. 10-22. (Continuación.)

Figura N° 40: Principales ornamentaciones de los Gasterópodos.
Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).

2.15.4.6 OTRAS ESTRUCTURAS

Una estructura relacionada con la concha es el opérculo. Figura N° 36, aunque no lo presentan todos los grupos de gasterópodos (sí muchos prosobranquios, pero no los pulmonados, ni demasiados opistobranquios adultos). La principal función del opérculo es cerrar la abertura cuando las partes blandas del organismo se retraen hacia el interior.

A veces el animal usa también el opérculo para ayudarse en la locomoción (p. ej., los estrómbidos). El opérculo puede ser córneo o calcáreo y de formas variadas; planos como placas, cónicos o espiralados.

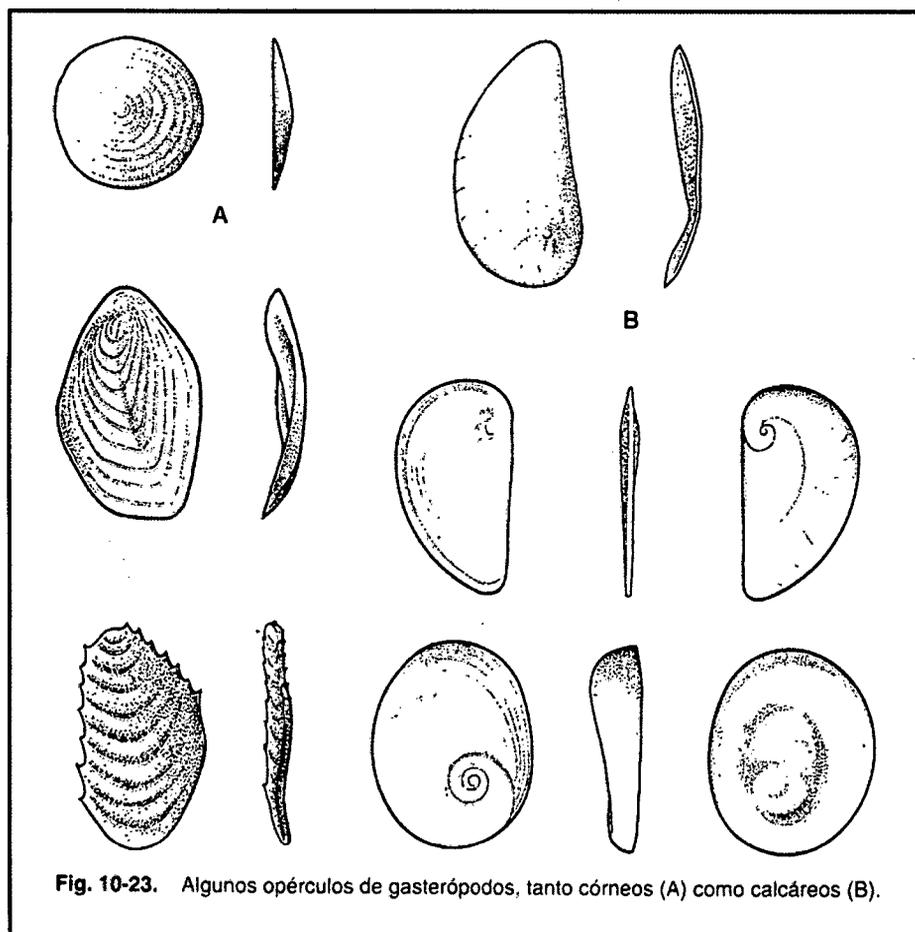


Fig. 10-23. Algunos opérculos de gasterópodos, tanto córneos (A) como calcáreos (B).

Figura N° 36: Otras estructuras de los Gasterópodos.
Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).

2.15.4.7 *SISTEMÁTICA*

Las categorías superiores de los gasterópodos actuales suelen basarse en los caracteres anatómicos, como el sistema respiratorio, la estructura del corazón, las características de la rádula, la disposición del sistema nervioso, etc. Este hecho dificulta la aplicación de la sistemática neontológica en los gasterópodos fósiles. La clasificación más usada por el momento en Paleontología divide la clase en tres subclases. Figura N° 37.

Tabla 10-4. Clase Gastropoda

Subclase	Prosobranchia	
	Orden Archaeogastropoda	(Cámbrico inferior-actualidad)
	Orden Mesogastropoda	(Ordovícico-actualidad)
	Orden Neogastropoda	(Cretácico-actualidad)
Subclase	Opisthobranchia	
	Orden Pleurocoela	(Carbonífero-actualidad)
	Orden Pteropoda	(Mesozoico-actualidad)
	Orden Nudibranchia	(actualidad)
	Orden Incerta	(Devónico-actualidad)
Subclase	Pulmonata	
	Orden Basommatophora	(¿Jurásico?-actualidad)
	Orden Stylommatophora	(¿Cretácico?-actualidad)

Figura N° 37: Sistemática de los Gasterópodos.
Fuente: J. Martinell (1996).

2.15.4.7.1 *SUBCLASE PROSOBRANCHIA*

Los prosobranquios presentan en general una concha enrollada espiralmente, pero a veces tiene una forma cónica o tubular.

- Los arqueogasterópodos. Figura N° 38-Aa, presentan una concha primitiva con una capa nacarada en el interior y es frecuente la posesión de un opérculo calcáreo.
- Los mesogasterópodos. Figura N° 38-Ab, su concha no presenta nácar. A menudo tienen un opérculo córneo, pocas veces calcáreo.
- Los neogasterópodos. Figura N° 38-Ac, presentan convergencia morfológica de la concha con la de los mesogasterópodos, pero las partes blandas permiten separar claramente las formas actuales. Las conchas no tienen capa nacarada y, cuando la presentan, el opérculo es quitinoso.

2.15.4.7.2 *SUBCLASE OPISTHOBRANCHIA*

Los opistobranquios comprenden las babosas marinas y formas relacionadas. Figura N° 38-B. La concha puede ser interna, externa, reducida o inexistente. Son gasterópodos de pequeñas dimensiones, pelágicos, muy útiles en correlaciones bioestratigráficas locales.

2.15.4.7.3 SUBCLASE PULMONATA

En cuanto a los pulmonados. Figura N° 38-C, la subclase está formada por los caracoles y las babosas terrestres. Prácticamente todos tienen concha externa, pero en algunos casos ha desaparecido (babosas). Dentro del grupo se incluyen también algunas formas de agua dulce y unos pocos gasterópodos marinos.

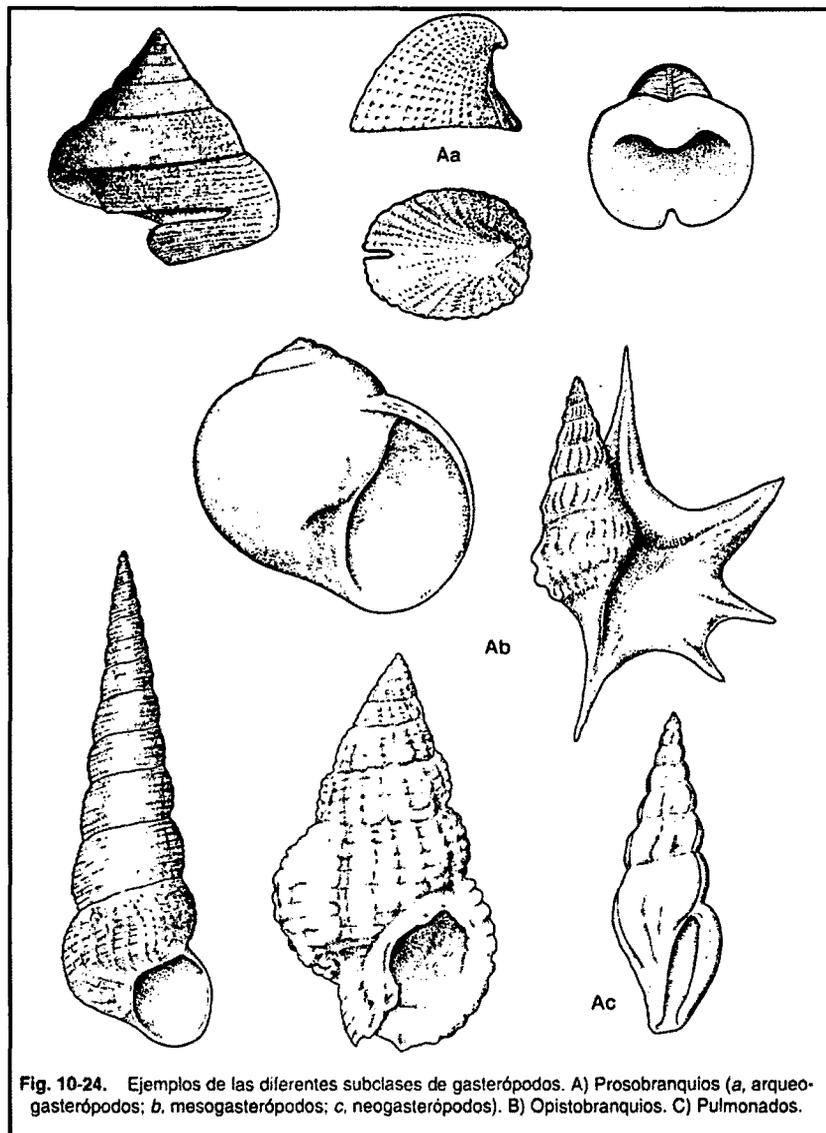


Fig. 10-24. Ejemplos de las diferentes subclases de gasterópodos. A) Prosobranquios (a, arqueogasterópodos; b, mesogasterópodos; c, neogasterópodos). B) Opistobranquios. C) Pulmonados.

Figura N° 38: Subclases de la clase Gasterópoda.
Fuente: J. Martinell (1996).

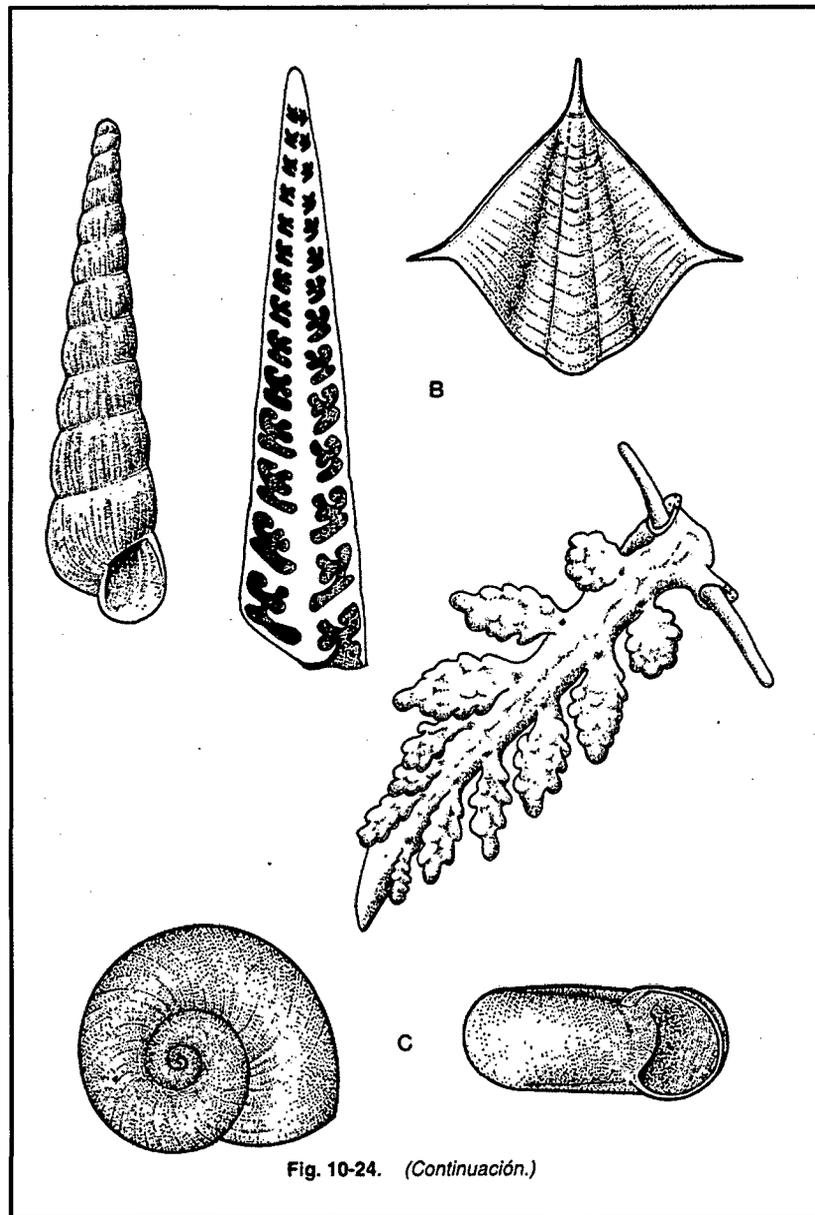


Figura N° 38: Subclases de la clase Gasterópoda.
Fuente: J. Martinell (1996).

2.15.4.8 *ECOLOGÍA Y PALEOECOLOGÍA*

Los gasterópodos pueden ser marinos, terrestres y de agua dulce o salobre. En el mar se los encuentra desde la zona litoral hasta las grandes profundidades. Los gasterópodos marinos son mayoritariamente bentónicos, aunque algunos grupos (pterópodos) se han adaptado a la vida pelágica y tienen movilidad activa o pasiva. El resto sólo presenta una fase libre-nadadora, que es la larvaria, y los adultos viven sobre el sustrato o dentro

de él o bien alternan ambos hábitos. Todas las características proporcionan mucha información sobre los hábitos y el medio en el que viven o vivían las diferentes especies. Estos datos permiten realizar valiosas inferencias en el registro fósil que pueden conducir a la caracterización de paleoambientes.

2.15.5 CLASE CEPHALÓPODA

2.15.5.1 INTRODUCCIÓN

Los cefalópodos deben el nombre a su característica más notable, que es la posesión de un número variable de brazos o tentáculos alrededor de la cabeza. Se trata de moluscos más especializados y de organización más elevada. Cabe destacar sus ojos, comparables en complejidad a los de los vertebrados. Los cefalópodos aparecieron durante el Cámbrico y tuvieron su máxima importancia en el Paleozoico y Mesozoico. En el registro fósil destacan los ortoceras, los ammonites y los belemnites como representantes más característicos.

Son animales exclusivamente marinos, la mayoría nectónicos y algunos, bentónicos. Se desplazan por expulsión del agua y/o los gases contenidos en la cavidad paleal. Como elemento morfológico de los cefalópodos la concha tiene un papel doble: servir de protección de las partes blandas y de aparato hidrostático para la flotación, el equilibrio y el desplazamiento dentro del agua.

2.15.5.2 MORFOLOGÍA

2.15.5.2.1 FORMA DE LA CONCHA

Las conchas externas de los cefalópodos son en general delgadas y delicadas. Se cree que los ammonoideos la tenían muy fina y de composición aragonítica. Por este motivo, su preservación ha resultado difícil, por lo que la mayoría de los ammonites se encuentran en forma de moldes, habiendo desaparecido la concha por diagénesis. Típicamente los cefalópodos presentan una concha formada por una única pieza, enrollada o recta y dividida en cámaras, separadas por septos o tabiques, pero conectadas por el sifúnculo (cordón carnoso que constituye una prolongación del manto del animal). La primera cámara es la protoconcha, y corresponde al estado embrionario del cefalópodo. Habitualmente tiene forma globosa. El animal vive en la cámara de habitación (última cámara formada y no dividida). El resto de la concha se denomina fragmocono. Figura N° 39.

La forma de la concha externa es bastante variada. Figura N° 40. Se habla de ortocono si la concha es recta y de cirtocono si está enrollada.

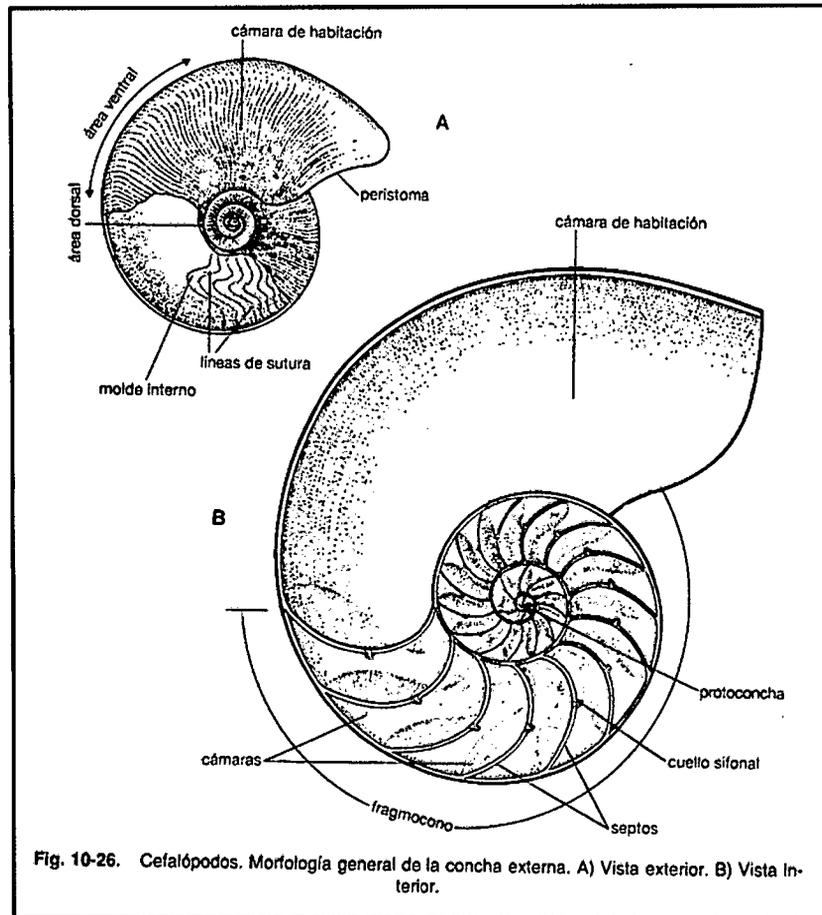


Fig. 10-26. Cefalópodos. Morfología general de la concha externa. A) Vista exterior. B) Vista Interior.

Figura N° 39: Morfología general del Cefalópodo.
Fuente: R. Domènech (1996).

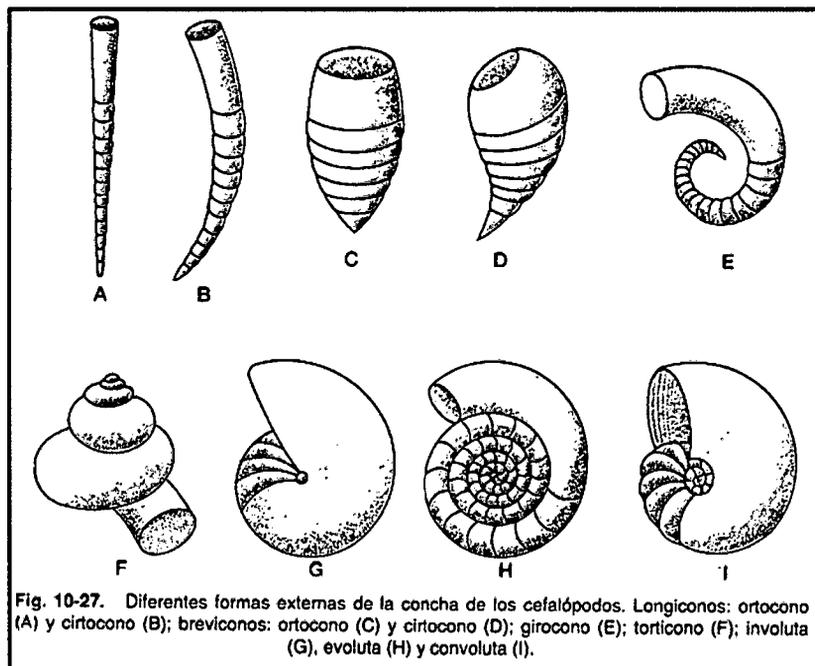


Fig. 10-27. Diferentes formas externas de la concha de los cefalópodos. Longiconos: orticocono (A) y cirtocono (B); breviconos: orticocono (C) y cirtocono (D); girocono (E); torticocono (F); involuta (G), evoluta (H) y convoluta (I).

Figura N° 40: Tipos de formas de las conchas de los cefalópodos.
Fuente: R. Domènech (1996).

2.15.5.3 *SISTEMÁTICA*

Los cefalópodos se clasifican en cinco subclases, de las cuales sólo dos tienen representantes actuales. Figura N° 41.

Tabla 10-5. Clase Cephalopoda

Subclase	Orthoceratoidea	(Cámbrico superior-Triásico superior)
	Orden Orthoceratida	
Subclase	Nautiloidea	(Ordovícico medio-actualidad)
	Orden Ellesmerocerida	
	Orden Oncocerida	
	Orden Discosorida	
	Orden Tarphycerida	
	Orden Barrandeocerida	
	Orden Nautilida	
Subclase	Ammonoidea	(Devónico inferior-Cretácico superior)
	Orden Anarcestida	
	Orden Clymeniida	
	Orden Goniatitida	
	Orden Prolecanitida	
	Orden Ceratitida	
	Orden Phylloceratida	
	Orden Lytoceratida	
	Orden Ammonitina	
Subclase	Coleoidea	(Carbonífero inferior-actualidad)
	Orden Aulacoceratida	
	Orden Belemnitida	
	Orden Sepiida	
	Orden Octopodida	
Subclase	Endoceratoidea	(Ordovícico inferior-Silúrico medio)
Subclase	Actinoceratoidea	(Ordovícico medio-Carbonífero superior)
Subclase	Bactritoidea	(Silúrico superior-Triásico superior)

Figura N° 41: Sistemática de la clase Cephalópoda.
Fuente: R. Domènech (1996).

2.15.5.3.1 *SUBCLASE ORTHOCERATOIDEA*

Esta subclase comprende formas ortocónicas o ligeramente curvadas, relacionadas con las de la subclase Nautiloidea. En el registro fósil son importantes las formas más rectas denominadas de forma general ortocerátidos. Figura N° 42 (p. ej. Orthoceras). Estas conchas presentaban en ocasiones ornamentaciones ligeras, con surcos y costillas.

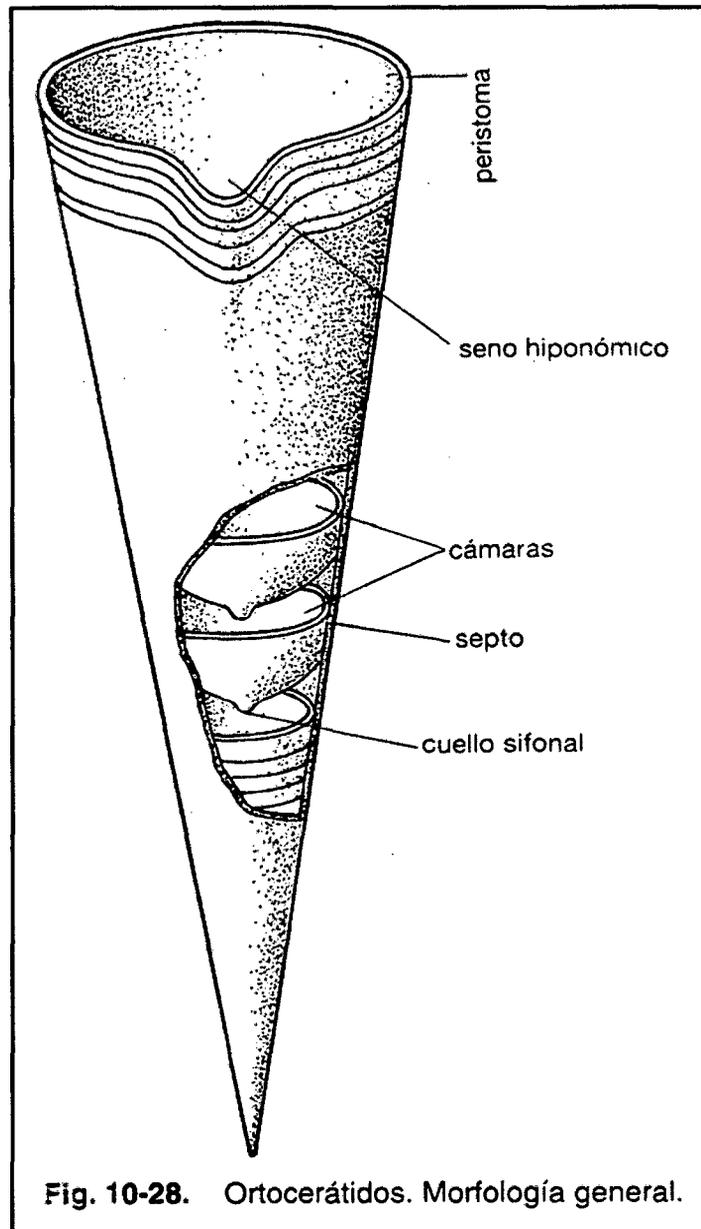


Figura N° 42: Morfología general de un Ortocerátido.
Fuente: J. Martinell (1996).

2.15.5.3.2 *SUBCLASE NAUTILOIDEA*

El último representante de esta subclase es el género Nautilus, que se ha mantenido prácticamente sin modificaciones desde el triásico hasta la actualidad. Figura N° 42. La subclase Nautiloidea se separa de las subclases Endoceratoidea y Actinoceratoidea basándose en sus distintas estructuras sifonales.

2.15.5.3.3 *SUBCLASE AMMONOIDEA*

Los representantes de esta subclase se conocen con el nombre común de ammonites o ammonoides. Se han descrito alrededor de 2000 géneros de ammonoides. La concha de los ammonoides Figura N° 43, salvo algunas excepciones (géneros heteromorfos), tiene forma planispiral, compacta. Algunos géneros primitivos presentan, sin embargo, un hueco central (al igual que ciertos nautiloideos del Paleozoico de concha enrollada). La concha puede ser involuta o evoluta, y su forma general, aplanada, comprimida, globular, subesferoidal, etc. Sus dimensiones máximas oscilan entre 1 cm y 3 m.

A diferencia de los nautiloideos, los ammonoides presentan a menudo ornamentación. Figura N° 44. Esta ornamentación consiste, aparte de las líneas de crecimiento más o menos marcadas, en costillas con o sin tubérculos y espinas, quilla o quillas en la zona ventral. Las líneas de sutura son en general complejas Figura N° 43. En los ammonoides se consideran tres tipos principales de suturas:

- **Sutura goniatítica:** línea en zig-zag con ángulos agudos y no aserrados. Figura N° 45-A.
- **Sutura ceratítica:** con lóbulos aserrados y las sillas lisas. Figura N° 45-B.
- **Sutura ammonítica:** con los lóbulos y las sillas aserrados. Figura N° 45-C.

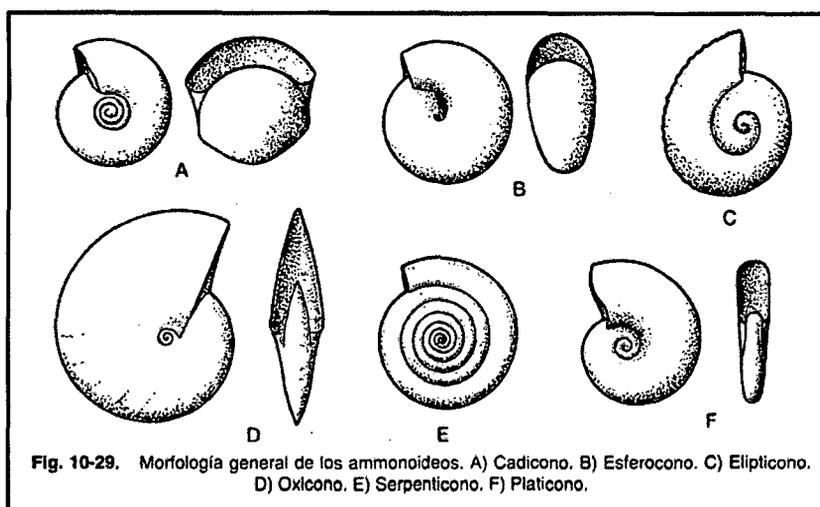


Figura N° 43: Morfología general de los ammonoides.
Fuente: R. Domènech & J. Martinell (1996).

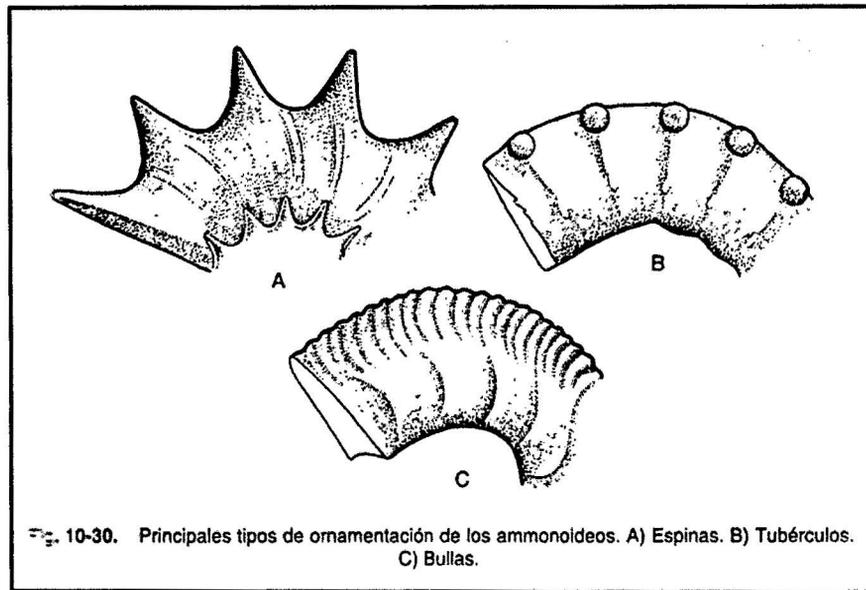


Figura N° 44: Tipos de ornamentación de los ammonoideos.
Fuente: R. Domènech & J. Martinell (1996).

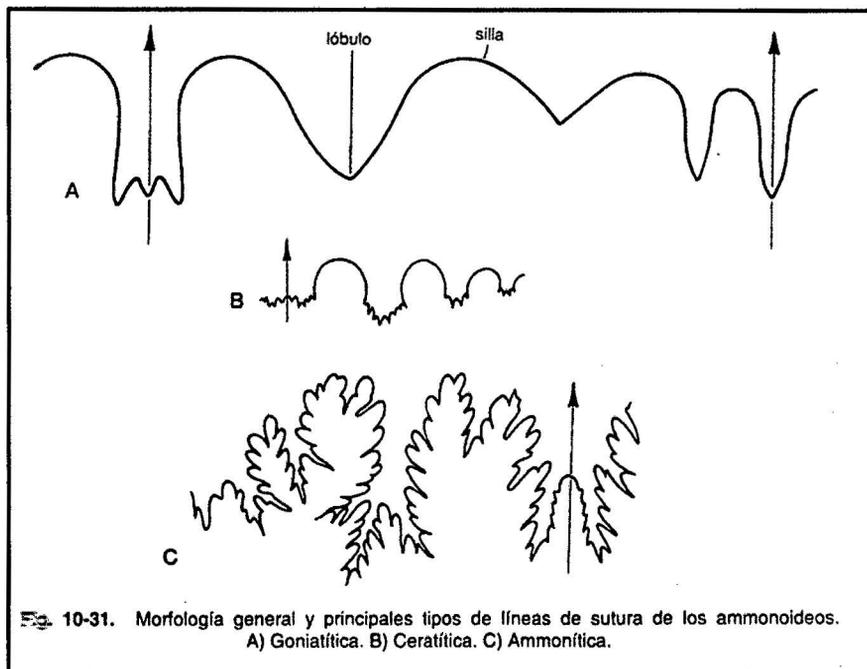


Figura N° 45: Principales líneas de sutura de los ammonoideos.
Fuente: R. Domènech & J. Martinell (1996).

2.15.5.3.4 SUBCLASE COLEOIDEA

A diferencia de los grupos anteriores los coleoideos pueden presentar una concha externa, una interna o carecer de ella. El rostro es un cilindro macizo de carbonato cálcico, con forma de proyectil. El extremo anterior del rostro presenta una cavidad denominada alveolo, que está ocupada por el fragmocono. El fragmocono es una estructura cónica de paredes aragoníticas muy finas que se prolonga fuera del alveolo. Figura N° 46.

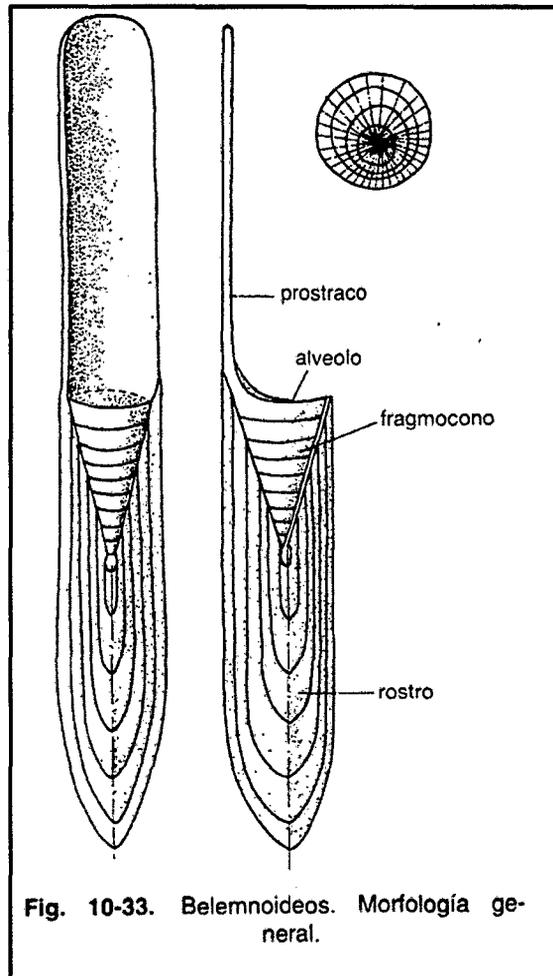


Fig. 10-33. Belemnoideos. Morfología general.

Figura N° 46: Subclase Coleoidea.
Fuente: R. Domènech (1996).

2.15.5.3.5 *SUBCLASE ENDOCERATOIDEA*

Los endoceratoideos. Figura N° 47-A, poseían conchas desde alrededor de 1 m hasta los 9 – 10 m de longitud, de morfologías rectas (ortocónicas) o curvadas (cirtocónicas). Los sifones acostumbran a ser grandes y de posición marginal. No presentan depósitos camerales.

2.15.5.3.6 *SUBCLASE ACTINOCERTOIDEA*

Las conchas de los actinoceratoideos tenían un tamaño entre poco menos de 1 m y 6 m en las formas gigantes, generalmente rectas (ortocónicas). Figura N° 47-B. Sus golletes sifonales son muy cortos, pero entre ellos se desarrollan otros de forma globosa, dentro de los que existe un sistema complejo y delicado de canales sifonales.

2.15.5.3.7 *SUBCLASE BACTRITOIDEA*

Los bactritoideos constituyen un grupo a caballo entre los nautiloideos y los ammonoideos, poco representados en el registro fósil. Figura N° 47-C. Su concha generalmente es recta, pero también se han encontrado algunas alargadas (longiconos) o cortas y globosas (breviconos). Tienen los sifones estrechos y marginales, y la protococha es bulbosa. No presentan depósitos camerales.

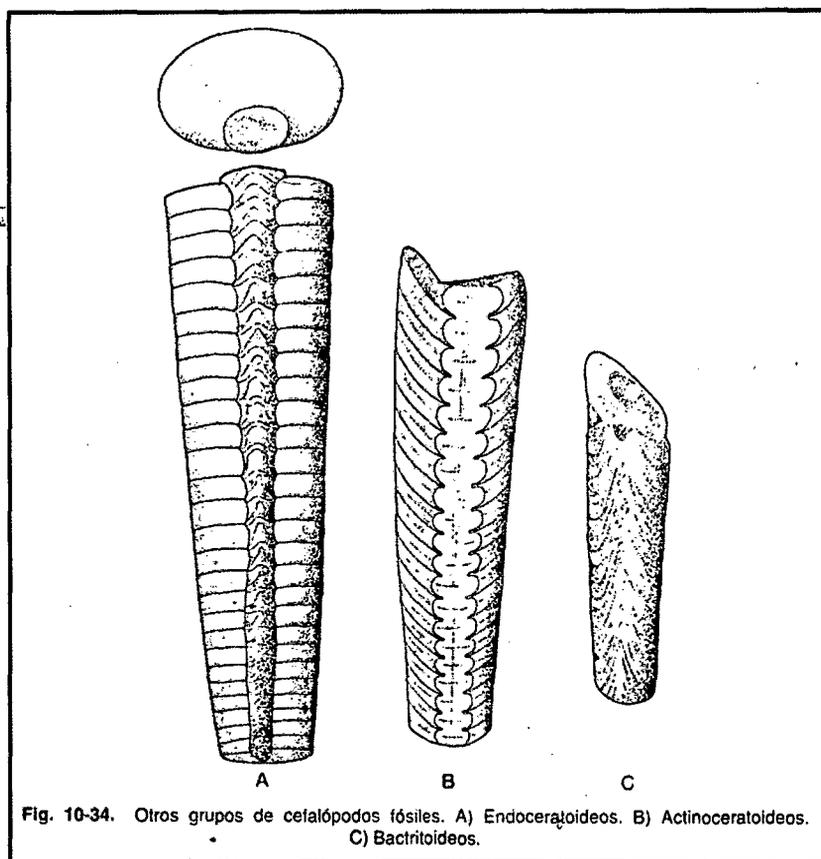


Fig. 10-34. Otros grupos de cefalópodos fósiles. A) Endoceraoideos. B) Actinoceratoideos. C) Bactritoideos.

Figura N° 47: Subclase Coleoidea.
Fuente: R. Domènech (1996).

2.15.5.4 *ECOLOGÍA Y PALEOECOLOGÍA*

Durante los últimos decenios se ha hecho un gran esfuerzo en el estudio de los cefalópodos. Sin embargo, esta labor es muy delicada a causa de la poca relación entre las formas actuales y las fósiles y porque por el hábito nectónico del grupo, nunca se puede estar seguro de trabajar sobre auténticas paleocenosis.

La reconstrucción de los hábitats de los cefalópodos fósiles de esqueleto externo está limitada por la posibilidad de que las conchas hayan sido transportadas después de la muerte del animal. Una cuestión que a menudo se ha intentado averiguar es la profundidad a la cual vivían las diferentes especies de cefalópodos fósiles. Este aspecto demuestra gran interés para poder determinar paleobatimetrías (y por lo tanto paleogeografías). Desde el punto de vista paleoclimático los cefalópodos han

demostrado su valor para la deducción de paleotemperaturas basándose en el análisis de la relación de isótopos O^{16}/O^{18} de su concha. Algunos cefalópodos son buenos indicadores batimétricos (*Sephia*), y en general se usan cada vez más para estudios tafonómicos, paleogeográficos e incluso de tectónica global.

2.16 FÍLUM ECHINODERMATA

2.16.1 INTRODUCCIÓN

Los equinodermos son invertebrados marinos bentónicos (sésiles o libres) o, excepcionalmente pelágicos. Entre ellas se encuentran las estrellas de mar, los erizos, los pepinos de mar, los lirios de mar, las ofiuras, etc. Figura N° 48.

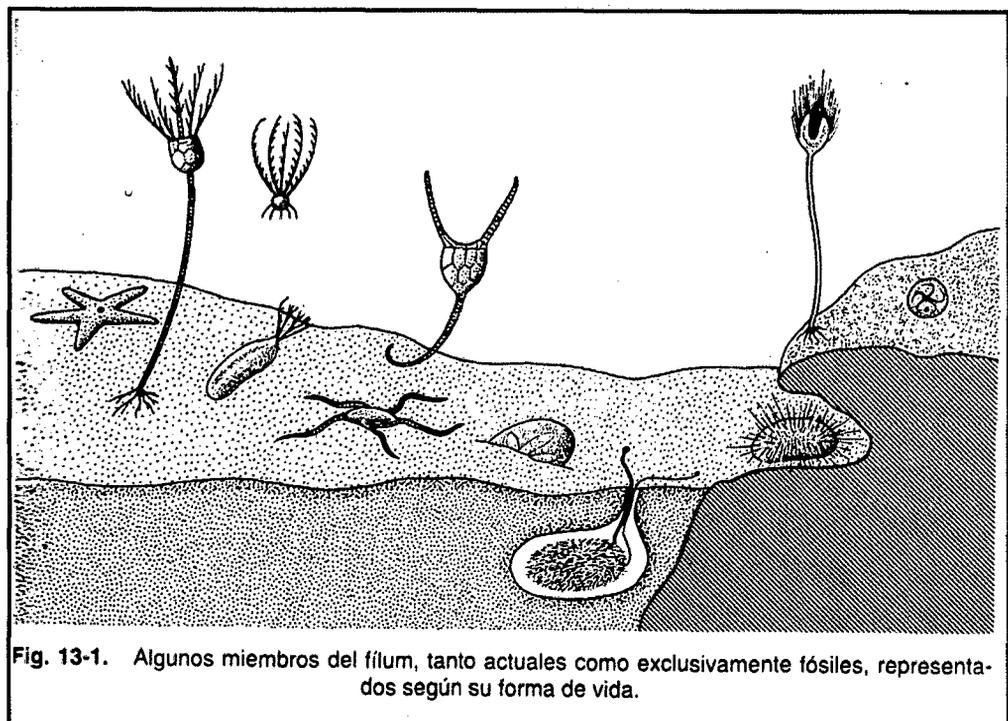


Figura N° 48: Hábitat y forma de algunos miembros del filum Echinodermata.
Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).

2.16.2 MORFOLOGÍA

Los equinodermos presentan un esqueleto interno formado por placas de calcita porosas (denominadas osículos, espículas, etc., según su forma y según el grupo de que se trate). A escala microscópica, cada pieza o unidad se comporta como un cristal único (es lo que se denomina microestructura de cristal unitario, exclusiva de los equinodermos). Los equinodermos poseen un sistema ambulacral, formado por un complejo sistema de tubos internos por los que circula un fluido de composición análoga a la del agua marina. Los pies ambulacrales (podios) son extensiones de este aparato que emergen del esqueleto hacia el exterior. Sus funciones se relacionan con la locomoción, la respiración y la alimentación. Figura N° 49.

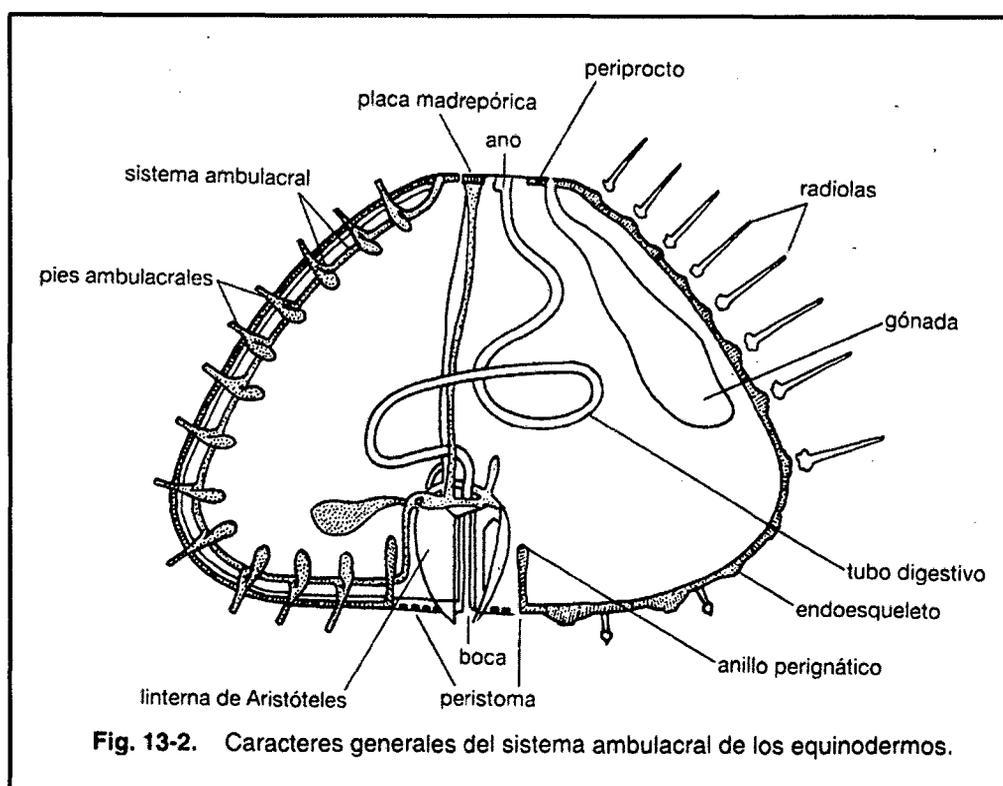


Figura N° 49: Morfología del filum Echinodermata.
Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).

2.16.3 SISTEMÁTICA

Existen diferentes clasificaciones sistemáticas modernas de los equinodermos, ya que no todos los especialistas están de acuerdo. La más generalizada hoy en día es la de la Figura N° 50. Los equinodermos se dividen en 5 Subfilum, cada uno con sus respectivas clases:

A. Subfilum Echinozoa.

- ✓ Clase Echinoidea.
- ✓ Clase Holothuroidea.
- ✓ Clase Edrioasteroidea.
- ✓ Clase Ophiocistoidea.
- ✓ Clase Helicoplacoidea.
- ✓ Clase Cyclocystoidea.
- ✓ Clase Edrioblastoidea.

B. Subfilum Asterozoa.

- ✓ Clase Asteroidea.
- ✓ Clase Ophiuroidea.

C. Subfilum Crinozoa.

- ✓ Clase Crinoidea.
- ✓ Clase Paracrinoidea.

D. Subfilum Blastozoa.

- ✓ Clase Diploporita.
- ✓ Clase Rhombífera.
- ✓ Clase Blastoidea.
- ✓ Clase Eocrinoidea.
- ✓ Clase Parablastoidea.

E. Subfilum Homalozoa.

- ✓ Clase Stylophora.

- ✓ Clase Homoiostealea.
- ✓ Clase Homostealea.
- ✓ Clase Ctenocystoidea.

Tabla 13-1. Fílum Echinodermata

Subfílum	Echinozoa	
	Clase Echinoidea	(Ordovícico superior-actualidad)
	Clase Holothuroidea	(Ordovícico medio-actualidad)
	Clase Edrioasteroidea	(Cámbrico inferior-Carbonífero superior)
	Clase Ophiocistoidea	(Ordovícico inferior-Carbonífero inferior)
	Clase Helicoplacoidea	(Cámbrico inferior)
	Clase Cyclocystoidea	(Ordovícico medio-Devónico medio)
	Clase Edrioblastoidea	(Ordovícico medio)
Subfílum	Asterozoa	
	Clase Asteroidea	(Ordovícico inferior-actualidad)
	Clase Ophiuroidea	(Ordovícico inferior-actualidad)
Subfílum	Crinozoa	
	Clase Crinoidea	(¿Cámbrico?/Ordovícico-actualidad)
	Clase Paracrinoidea	(Ordovícico inferior-Silúrico inferior)
Subfílum	Blastozoa	
	Clase Diploporita	(¿Cámbrico?-Devónico superior)
	Clase Rhombifera	(¿Cámbrico?-Devónico superior)
	Clase Blastoidea	(Silúrico-Pérmico)
	Clase Eocrinoida	(Cámbrico inferior-Silúrico)
	Clase Parablastoidea	(Ordovícico inferior-Ordovícico medio)
Subfílum	Homalozoa	
	Clase Stylophora	(Cámbrico medio-Devónico medio)
	Clase Homoiostealea	(Cámbrico medio-Devónico inferior)
	Clase Homostealea	(Cámbrico medio)
	Clase Ctenocystoidea	(Cámbrico medio)

Figura N° 50: Sistemática del fílum Echinodermata.
Fuente: J. Martinell & R. Domènech (1996).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE TRABAJO.

3.1 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VARIABLES.

3.1.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Son aquellas variables que cumplen con la función de supuestas causas.

3.1.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Son aquellas variables que cumplen con la función de supuestos efectos. Una misma variable puede actuar como dependiente en unos casos y como independiente en otros.

<i>Variables Independientes (Causas)</i>	<i>Variables Dependientes (Efectos)</i>
<p>Contenido fósil de los estratos. Correlaciones y datación de las rocas que los contienen.</p>	Bioestratigrafía
<p>Descripción de las unidades estratificadas. Cartografiado y correlación de las unidades estratificadas.</p>	Estratigrafía
<p>Correlación de estratos y creación de columnas. Origen y evolución de los seres que vivieron en el pasado.</p>	Paleontología
<p>Relaciones entre ellos y su entorno paleocológico. Distribución espacial y migraciones. Ambientes de sedimentación. Procesos de formación. Etapas de transgresión.</p>	Sedimentología
<p>Tamaño de grano, tamaño de partículas. Características físico-químicas de las rocas. Composición mineralógica y material cementante. Tiempo geológico.</p>	Litología
<p>Datación relativa y datación absoluta.</p>	Geocronología - Cronoestratigrafía
<p>Procesos endógenos. Procesos exógenos. Fauna y flora. Topografía. Meteorización.</p>	Geomorfología
<p>Propiedades físico – químicas de las rocas. Clima. Vegetación.</p>	Meteorización

Tabla N° 3: Identificación y Clasificación de Variables.

3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

<i>VARIABLES DEPENDIENTES.</i>	<i>DEFINICIÓN.</i>	<i>FACTORES (VARIABLES INDEPENDIENTES)</i>	<i>INDICADORES.</i>
Bioestratigrafía.	Es la ciencia que se encarga del orden cronológico relativo de las rocas sedimentarias mediante el uso de su contenido fósil, estableciendo diferentes biozonas sucesivas en el tiempo.	Contenido fósil de los estratos. Correlaciones y datación de las rocas que los contienen.	La investigación comprende el estudio bioestratigráfico de la Formación Chulec la cual contiene abundancia fósil en sus estratos, los cuales van a servir para realizar las correlaciones.
Estratigrafía.	Es la rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas y de la identificación y descripción de las unidades estratificadas de rocas.	Descripción de las unidades estratificadas. Cartografiado y correlación de las unidades estratificadas. Correlación de estratos y creación de columnas.	La Formación Chulec presenta una variada estratificación producto de los procesos de sedimentación desarrollados en su formación.
Paleontología.	Es la ciencia que estudia e interpreta el pasado de la vida sobre la tierra a través de los fósiles. La paleontología permite entender la actual composición y distribución de los seres vivos sobre la Tierra antes de la intervención humana.	Origen y evolución de los seres que vivieron en el pasado. Relaciones entre ellos y su entorno paleocológico. Distribución espacial y migraciones.	La evidencia fósil presente en la Formación Chulec es prueba irrefutable del desarrollo de la vida y de la dispersión faunística de ésta en este periodo de tiempo. Se tiene como fósil característico a los ammonites.
Sedimentología.	Es la rama de la geología que se encarga de estudiar los procesos de formación, transporte y deposición de material que se acumula como sedimento en ambientes continentales y marinos y que normalmente forman rocas sedimentarias. Trata de interpretar y reconstruir los ambientes sedimentarios del pasado.	Ambientes de sedimentación. Procesos de formación. Etapa de transgresión.	Los procesos de sedimentación juegan un rol importante en la formación de la Formación Chulec, brindando información valiosa sobre el tipo de ambientes sedimentarios y la evolución de éstos

Litología.	Es la parte de la geología que estudia a las rocas especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. Incluye también su composición, su textura, tipo de transporte así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante.	Tamaño de grano, tamaño de partículas. Características físico-químicas de las rocas. Composición mineralógica y material cementante.	El estudio abarca una Formación del cretáceo inferior compuesta de alternancia de rocas carbonatadas, razón por la cual el análisis de éstas nos servirá para identificar el tipo de ambiente.
Geocronología – Cronoestratigrafía.	Es la ciencia que tiene por objeto el de determinar la edad y sucesión cronológica de los acontecimientos geológicos en la historia de la Tierra. La Cronoestratigrafía se encarga de ordenar unidades estratigráficas (cuerpo de rocas reales) mientras que la Geocronología se ocupa de delimitar intervalos sucesivos de tiempo, aunque no exista un registro material continuo del mismo.	Tiempo geológico. Datación relativa y datación absoluta.	La investigación comprende el análisis espacial y temporal de la fauna fósil, así como la correlación e identificación de ésta dentro del tiempo geológico.
Geomorfología.	Es una rama de la geografía física que tiene como objeto el estudio de las formas de la superficie terrestre, las cuales son producidas por procesos exógenos y endógenos.	Procesos endógenos. Procesos exógenos. Fauna y flora. Topografía. Meteorización.	Los diferentes tipos de relieves y geo formas ocasionados por los diferentes agentes ayudarán a determinar la evolución Paleogeomorfológica.
Meteorización.	Es el proceso de descomposición de minerales y rocas que ocurre sobre o cerca a la superficie terrestre cuando estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrosfera y biosfera.	Propiedades físico – químicas de las rocas. Clima. Vegetación.	Este proceso ayudará al pre seleccionamiento de ciertas áreas de estudio ya que parte de los afloramientos se encuentran bajo la influencia de ésta.

Tabla N° 4: Operacionalización de Variables.

3.3 TIPIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 *SEGÚN EL TIPO DE CONOCIMIENTOS PREVIOS USADOS*

La investigación llevada a cabo es del tipo científica, puesto que se ha empleado marcos teóricos derivados de la ciencia.

3.3.2 *SEGÚN EL TIPO DE PREGUNTA PLANTEADA EN EL PROBLEMA*

La presente investigación desarrollada es descriptiva-comparativa-explicativa-relacionante; es descriptiva porque en ella se describen una realidad; es decir las características litológicas, estratigráficas, paleontológicas, cronoestratigráficas y bioestratigráficas presentes en la Formación Chulec.

Es Comparativa porque en ella se establecen semejanzas y diferencias en el registro fósil presentes en las unidades bioestratigráficas. Es explicativa porque en ella se trata de definir las características del paleo ambiente de la Formación y responde a las interrogantes planteadas durante el desarrollo de la investigación. Y por último es del tipo relacionante porque en ella se determinan el grado de relación entre las variables con respecto a las características bioestratigráficas presentes en la Formación Chulec.

3.3.3 *SEGÚN EL PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN*

Es una investigación aplicada, porque busca poner en práctica un marco teórico para conocer una realidad determinada, realizando un: "Estudio bioestratigráfico de la Formación Chulec en la zona de Puyllucana – Santa Úrsula".

3.3.4 *SEGÚN SU ALCANCE TEMPORAL*

Es una investigación transversal o sincrónica, porque se realiza en un período corto en el año 2011-2013.

3.4 *UNIDAD DE ANÁLISIS, POBLACIÓN Y MUESTRA.*

3.4.1 *UNIDAD DE ANÁLISIS*

La unidad de análisis son los estratos de la Formación Chulec.

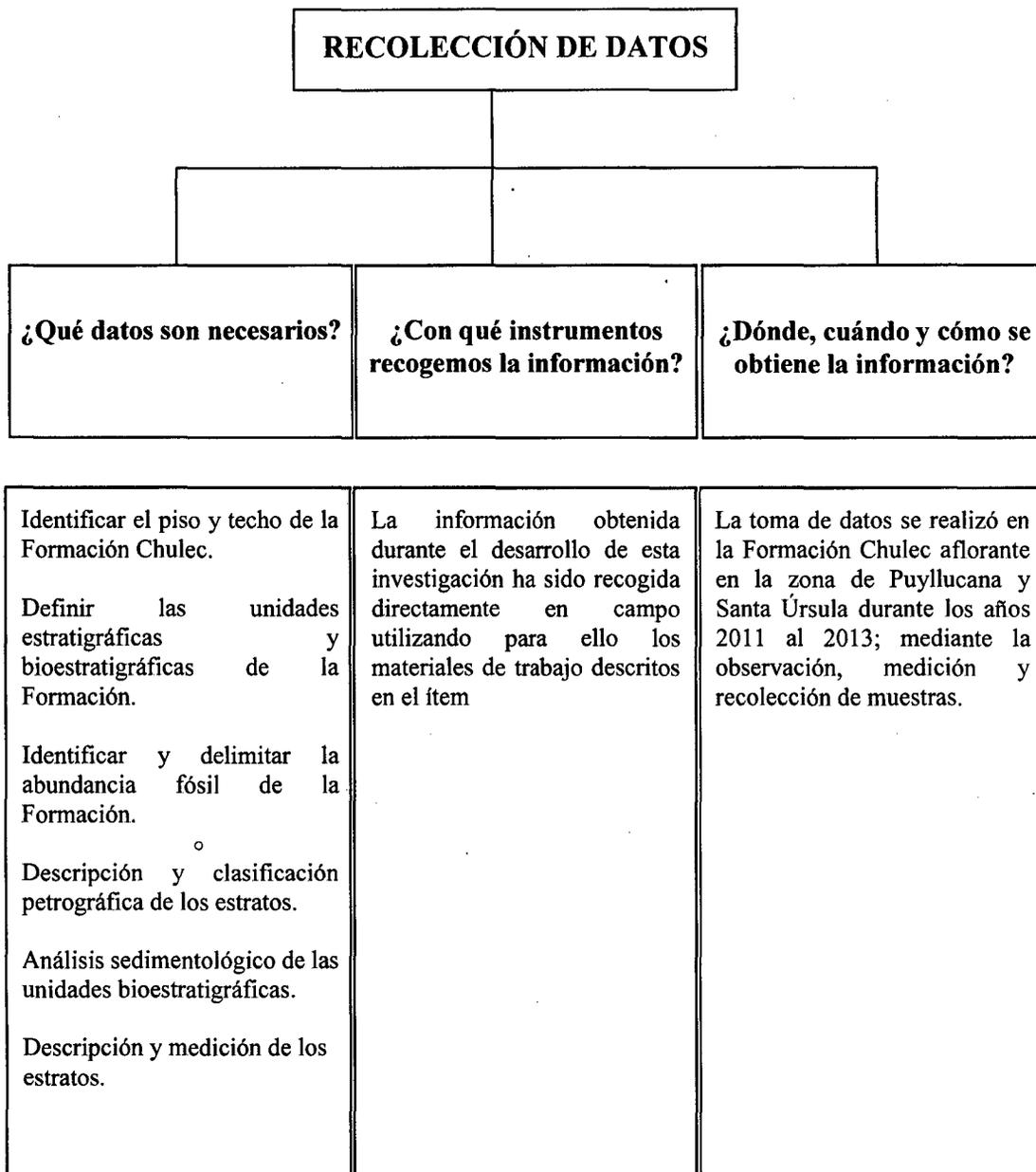
3.4.2 *POBLACIÓN*

Las unidades bioestratigráficas presentes en la Formación Chulec representan la población a estudiar en la zona Puyllucana – Santa Úrsula.

3.4.3 *MUESTRA*

En la investigación la muestra está representada por las rocas sedimentarias de diferentes estratos de lutitas, calizas y margas y los fósiles hallados durante el desarrollo de ésta.

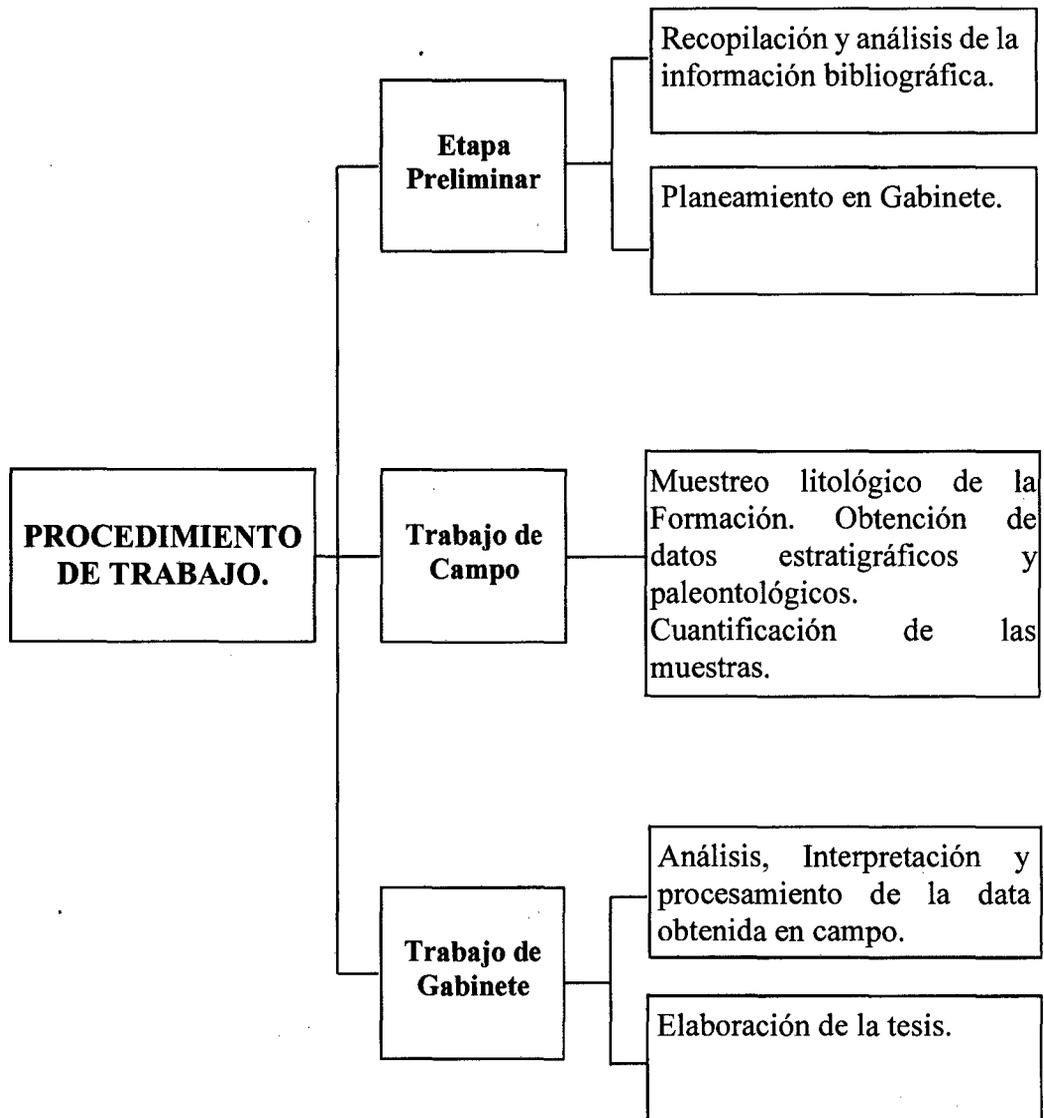
3.5 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.



Cuadro N° 1: Esquema de la recolección de datos.

3.6

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO.



Cuadro N° 2: Procedimiento de trabajo.

3.6.1 ETAPA PRELIMINAR

3.6.1.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Consiste en la recopilación, revisión y síntesis de la información utilizando para esto diversas fuentes bibliográficas como lo son: los libros, tesis y trabajos anteriores afines al tema, planos: geológico y topográfico, imágenes satelitales, papers o resúmenes científicos, páginas web relacionadas al tema de investigación.

3.6.1.2 PLANEAMIENTO EN GABINETE

El proceso de planeamiento va de la mano con la forma y los modos de cómo se irán planificando las diversas actividades de campo y gabinete; de tal manera que el desarrollo de la investigación sea lo más posible ordenada y organizada.

3.6.2 TRABAJO DE CAMPO

3.6.2.1 TRABAJO DE CAMPO PROPIAMENTE DICHO

El trabajo de campo se ha dividido en dos etapas: la primera que consistió en el cartografiado geológico de la Formación Chulec, en la cual se definió los límites como son el piso y el techo de la Formación; así como los márgenes de contacto litológico con las Formaciones Inca y Pariatambo. La segunda etapa se centró básicamente en la localización, cualificación y cuantificación de las unidades bioestratigráficas; así como del registro fósil presente en la Formación. Para finalmente proceder al levantamiento de columnas estratigráficas.

3.6.3 TRABAJO DE GABINETE

3.6.3.1 TRABAJO EN GABINETE PROPIAMENTE DICHO

El análisis, la interpretación y el procesamiento de la data obtenida en campo; se la desarrollaron mediante dos etapas: una realizada mediante un trabajo analítico exhaustivo y la otra mediante un trabajo estadístico.

A. TRABAJO ANALÍTICO

El trabajo analítico se realizó en gabinete y estuvo enfocado en un primer momento a la creación de un inventariado del registro fósil y de las unidades bioestratigráficas obtenidas en campo, para luego ser procesado en una data paleontológica y en otra estratigráfica. Luego con la ayuda de softwares como el ArcGis, Past, entre otros se desarrolló el conjunto de planos, tablas, cuadros estadísticos, variogramas, etc. Con la finalidad de que toda la data sea identificable y verificada.

B. TRABAJO ESTADÍSTICO

El trabajo estadístico ha sido manejado desde un inicio y se ha mantenido hasta el final de la investigación; desde la búsqueda de la información, organización de los datos, su clasificación, síntesis, interpretación y cuantificación. Así como para la estimación y grado de confiabilidad de la investigación. El método desarrollado es estadístico descriptivo, ya que se inicia del análisis de variables cualitativas y cuantitativas catalogadas en el registro fósil.

3.6.3.2 ELABORACIÓN DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN

Esta etapa comprende la redacción final de la tesis, para la presentación y sustentación de la misma.

3.7 EQUIPOS Y MATERIALES

Los equipos y materiales empleados durante el desarrollo de la presente tesis de investigación son a continuación se detallan:

3.7.1 EQUIPO PARA CAMPO

- GPS Garmin; modelo Oregon, calibrado con el sistema UTM para la zona sudamericana usando el DATUM WGS-84 y para la franja peruana 17M.
- Brújula Brunton; modelo Brunton y del tipo cuadrangular.
- Picota Steel; del tipo de mango corto.
- Un juego de lupas Vantage; de 15x y 20x.
- Un rayador con punta de tungsteno.
- Cámara fotográfica Fuji semi profesional; modelo SL280.
- Flexómetro de 5 metros; de la marca Stanley.
- Wincha de 30 metros; de la marca Stanley.
- Punzones de acero.
- Espátulas de acero.
- Un par de mochilas; una para el equipo y los materiales y otra para las muestras.

3.7.2 MATERIALES PARA CAMPO

- Plano topográfico; a escala de 1:12500.
- Protactor con escalas de 1:500 y 1:1000
- Set de 36 colores Faber Castell.
- Un par de lápices Faber Castell; del tipo 2B y 2H.
- Un tablero de madera.
- Una libreta de Campo.
- Un gotero de ácido clorhídrico diluido al 25%.
- Una correa porta picota de cuero.
- Un porta ácido de cuero.
- Bolsas para muestras.

3.7.3 EQUIPO PARA GABINETE

- Un par estereográfico para mesa.
- Un Microscopio petrográfico 50x – 100x.
- Un tablero de ingeniería con luz blanca.
- Una computadora de escritorio.
- Una laptop TOSHIBA i7.
- Una impresora multifuncional CANON MP230.

3.7.4 MATERIALES PARA GABINETE

- Una mesa de trabajo de 1.5m x 2.5m.
- Una Carta Geológica de la zona 15-g; a escala de 1:100000.
- Una fotografía aérea de la zona en estudio.
- Un set de reglas de dibujo biseladas.
- 2 millares de papel bond Atlas de 80 gramos.
- Ácido acético.
- Materiales de oficina, entre otros.

3.8 RECURSO HUMANO Y SOPORTE TÉCNICO.

3.8.1 RECURSO HUMANO

- Bach. Percy Luis Torres García.
- Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Director de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la UNC.

• COLABORADORES:

- Dr. Jean Noël Martínez Trouvé.
Director del Instituto De Paleontología de la UNP.
Miembro honorable de la Academia Nacional de Ciencias (ANC).

- Bach. José Luis Alcántara Membrillo.
Bachiller en Ingeniería Geológica de la UNC.
- Bach. Luis Lorenzo Rodríguez Rojas.
Bachiller en Ingeniería Geológica de la UNC

3.8.2 *SOPORTE TECNOLÓGICO*

- Software: ArcGIS versión 10.1
- Software: Microsoft Office 2013.
- Software: Past versión 5.3
- Software: Acrobat Reader 2013.
- Software: AutoCAD 2014.

CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN

Geográficamente, de acuerdo con el globo terráqueo el área de estudios se encuentra ubicada en el continente Sudamericano (América del Sur). En el país de Perú, en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca y entre los distritos de Baños del Inca y la Encañada. (Figura N°51)

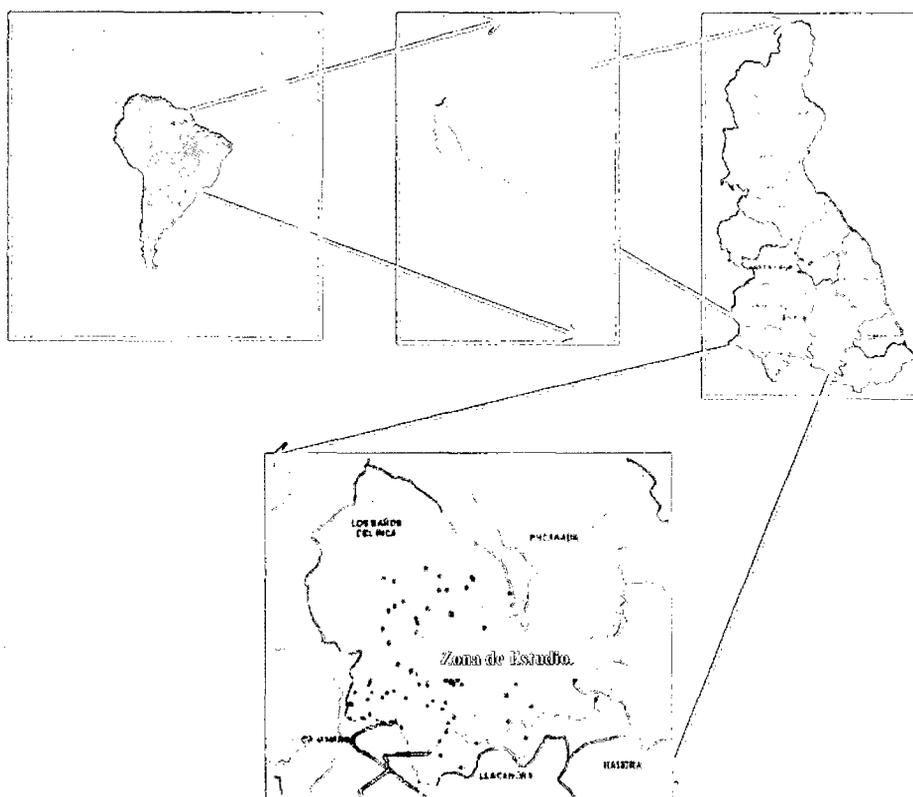


Figura N° 51: Ubicación y acceso a la zona de estudio.

Específicamente la zona de estudios abarca parte del centro poblado de Puyllucana y del caserío de Santa Úrsula; tomando parte de la denominada pampa de la culebra. El área considerada para esta investigación abarca prudentemente una extensión de 13.5 km² aproximadamente; lugar donde aflora la Formación Chulec como parte del flanco del Sinclinal Puyllucana teniendo como vértices a los siguientes puntos en coordenadas UTM (DATUM WGS-84):

PUNTOS	LATITUD	LONGITUD
A - NE	9207500	782000
B - NW	9210000	790000
C - SW	9210000	782000
C - SE	9207500	790000

Tabla N° 5: Coordenadas UTM de la zona de estudio (DATUM WGS-84).

4.2 ACCESIBILIDAD

En cuanto a la accesibilidad, para llegar a la zona de estudio se cuentan con dos vías las cuales se indican a continuación:

Tramo	Tipo de carretera	Distancia (Km).	Tiempo
Cajamarca - Baños del Inca	Asfaltada	5 Km. aprox.	10 minutos
Baños del Inca - Santa Úrsula	Asfaltada	40 Km. aprox.	25 minutos

Tabla N° 6: Accesibilidad a la zona de estudio.

El acceso hacia Puyllucana es asfaltada contando con varios otros caminos de herradura internos; mientras que el acceso hacia Santa Úrsula se lo realiza a través de un desvío de la carretera que va de Baños del Inca hacia la Encañada.

4.3 FISIOGRAFÍA

El relieve físico que presenta la zona de estudio es típico de la región Quechua en la parte baja con un relieve ondulado y de bajas pendientes; mientras que en la parte alta ésta pasa a formar parte de la región Suni. La presencia de valles juveniles se pueden observar claramente pues estos vienen denotados por la característica forma de “v” alternando en sus flancos una variación de pendiente de suaves a moderadas y en algunas otras partes a pendientes fuertes; todo esto producto de la erosión de las aguas torrenciales y de las de escorrentía presentes en las épocas lluviosas.



Foto N° 01: Fisiografía de la parte baja de la zona de estudio, con pendientes moderadas a altas; las cuales fluctúan entre los 35° y 60°.



Foto N° 02: Fisiografía de la parte superior en las cercanías a Santa Úrsula, con pendientes suaves las cuales fluctúan entre los 10° a 15°.

4.4 CLIMA Y VEGETACIÓN.

4.1 CLIMA.

La región presenta dos estaciones características; una lluviosa de Noviembre a Marzo y otra seca de Abril a Octubre, con sus respectivas etapas transicionales; sin embargo, este ciclo tiene periodos excepcionales cuando se presentan años de sequía y/o de abundantes precipitaciones, con funestas consecuencias para la agricultura, ganadería y en general, para la economía de la región.

a. Temperaturas

TEMPERATURAS	GRADOS CELSIUS
Temperatura Máxima Promedio:	27° C.
Temperatura Mínima Promedio:	3° C.
Temperatura Promedio:	18°C.

Tabla N° 7: Temperaturas de la zona de estudio.
Fuente: SENAMHI.

b. Precipitación

Presentación Máxima Promedio:	618.8 mm.
Precipitación Promedio Mensual:	51.6 mm.

Tabla N° 8: Precipitaciones de la zona de estudio.
Fuente: SENAMHI.

c. Meses De Lluvia

Periodo Lluvioso:	Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo.
Meses Más Lluvioso:	Febrero y Marzo

Tabla N° 9: Meses de lluvia de la zona de estudio.
Fuente: SENAMHI.

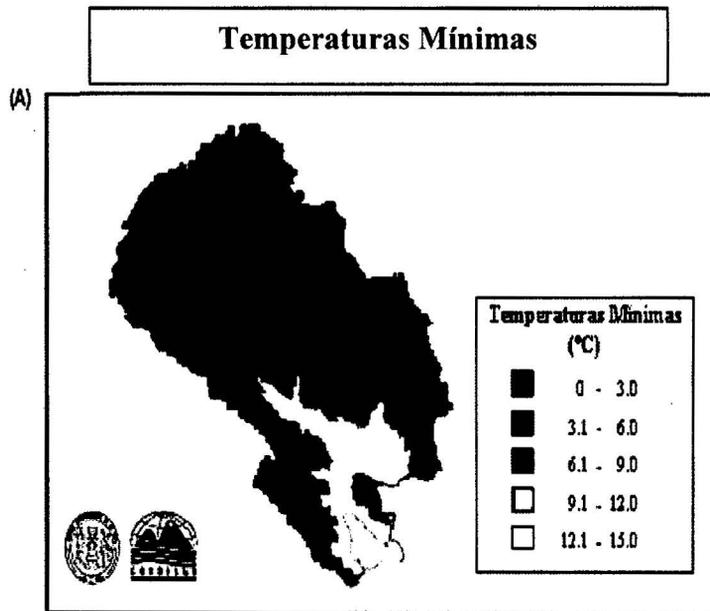


Figura N° 52: Distribución de temperaturas mínimas.
Fuente: SENAMHI.

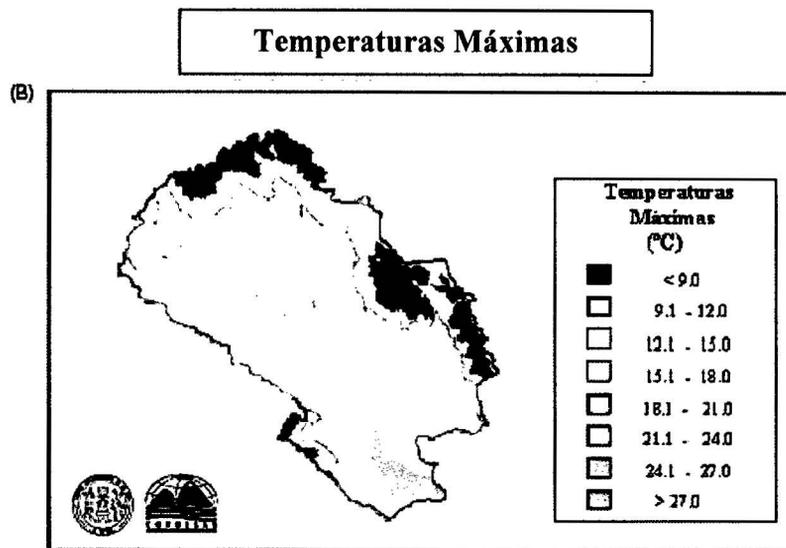


Figura N° 53: Distribución de temperaturas máximas.
Fuente: SENAMHI.

Las dos figuras nos presentan las temperaturas mínima anual, máxima anual y la precipitación mensual, respectivamente. Estos mapas han sido generados por interpolación de los datos climáticos de las estaciones que están dentro y cercanas a la cuenca de Cajamarca.

4.2 VEGETACIÓN.

La vegetación existente en el lugar consta de plantaciones artificiales tales como eucaliptos, pinos, ciprés, arbustos, hierbas y zonas de cultivos. Además podemos mencionar la presencia de ichu y musgos en la parte alta de la zona de estudio.



Foto N° 03: Flora existente en la zona de estudio, presencia de Eucaliptos domina el paisaje así como tierras de cultivo.



Foto N° 04: Vegetación representativa de la parte alta de la zona de estudio, Eucalipto y cultivo de chocho.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9215040 E: 7835021 Cota: 3117 m.s.n.m Foto: Vegetación.

CAPÍTULO V

CONDICIONES MORFOLÓGICAS

5.1 PROCESOS EXÓGENOS

Gran parte de las geo formas existentes en la zona se deben a los procesos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación. Factores como el agua y el sol básicamente a través del tiempo han modelado de manera continua y gradual los estratos de la Formación Chúlec cuyo reflejo se puede observar en las laderas y pendientes generadas, teniendo como resultante material suelto que luego se depositará como material actual producto de este conjunto de procesos.

5.2 PROCESOS ENDÓGENOS

La zona de estudio está emplazada en el Sinclinal Puyllucana dentro de la cordillera occidental, la cual ha sido originada por procesos Epiro-orogénicos y por acción erosiva de los sistemas morfogenéticos.

5.3 CICLO GEOMORFOLÓGICO

Las etapas evolutivas de la zona de estudio describen un desarrollo complejo de erosión y levantamiento; denotando que la erosión ha sido mayor cuando la elevación también lo ha sido. La tasa de erosión y elevación son del orden de metros/millones de años.

5.3.1 *RELIEVE JOVEN*

Este tipo de relieve es observable en la zona media de Puyllucana en donde se pueden observar la formación de valles estrechos producto de la erosión por quebradas generando desniveles en el terreno.

5.3.2 *RELIEVE MADURO*

Se puede observar en la zona baja de Puyllucana correspondiente a las Formaciones Inca y Chulec en donde se tiene presencia de terrazas fluviales amplias y con pendientes leves a moderadas.

5.3.3 *RELIEVE SENIL*

Comprende un área mucho mayor y que aborda una mínima parte de la zona estudiada; abarcado más bien el área donde se asientan Baños del Inca y Cajamarca.

5.4 *UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS*

5.4.1 *MONTAÑAS*

5.4.1.1 *LADERA DE MONTAÑA EMPINADA*

La zona de estudio presenta laderas de montaña inclinada las cuales se encuentran estructuralmente plegadas y litológicamente están constituidas por las rocas sedimentarias de las Formaciones Inca – Chulec – Pariatambo. Las pendientes fluctúan entre los 15° y 30°.

5.4.1.2 *LADERA DE MONTAÑA FUERTEMENTE EMPINADA*

Este tipo de laderas se pueden observar en la zona baja de Puyllucana y al SE del centro poblado; presenta sectores de topografía muy accidentada con laderas de montaña medianamente ramificadas y estructuralmente plegadas. Litológicamente estas laderas comprenden parte de la Formaciones Inca y Chulec; las pendientes fluctúan entre los 35° y 70°.

5.4.3 COLINAS

5.4.3.1 COLINA BAJA FUERTEMENTE INCLINADA

Se observan en la parte alta de Puyllucana y alrededores de Santa Úrsula. Litológicamente están constituidas por rocas sedimentarias de las Formaciones Chulec y Pariatambo; la pendiente dominante fluctúa entre los 8° y 15°.

5.4.4 TERRAZAS

5.4.4.1 PIEDEMONTE ALUVIO – FLUVIALES.

Estas unidades geomorfológicas se encuentran ocupando cierta parte de la zona estudiada en dirección al Este y Sur Este del centro poblado de Santa Úrsula, siendo el origen de estas la continua acumulación de sedimentos aluviales y fluviales. Las pendientes dominantes oscilan entre los 4° y 10°.

5.4.5 KARST

El proceso kárstico que se da en la Formación Chulec es medianamente existente ya que la infiltración de aguas en gran parte han sido drenadas a través de las quebradas existentes; no obstante sería de mucha utilidad el realizar algún tipo de estudio con respecto al potencial hidrológico de almacenamiento en esta Formación.

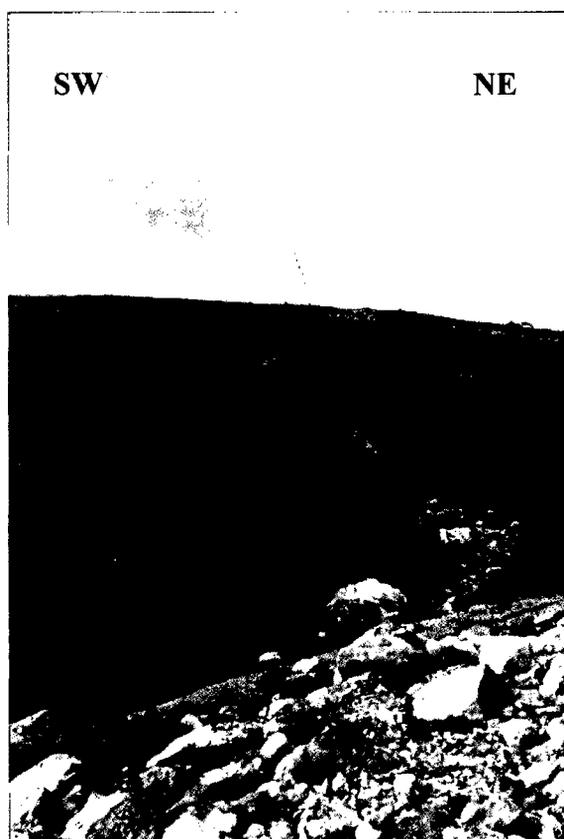


Foto N° 05: Drenaje ocasionado por la fuerte erosión en el material carbonatado de la Formación Chulec.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208858 E: 783001 Cota: 3071 m.s.n.m Foto: Fm-Ch.

CAPÍTULO VI

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

6.1 ESTRATIGRAFÍA

De acuerdo a los antecedentes existentes en estratigrafía y sedimentología, la zona de estudio se manifiesta estratigráficamente de la siguiente manera:

En la parte inferior, se tiene a la Formación Inca, la cual infrayace a la Formación Chulec con una litología propia de un sistema transgresivo constando con una intercalación de areniscas calcáreas y lutitas ferruginosas. La Formación Chulec la cual ha sido el motivo de este estudio, suprayace a la Formación Inca e infrayace a la Formación Pariatambo y consta de una secuencia fosilífera de calizas, calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas nodulosas. Por otro lado la Formación Pariatambo suprayace a la Formación Chulec y consta de una alternancia de lutitas con delgados lechos de calizas bituminosas.

La secuencia estratigráfica inicia entonces con el contacto litológico entre las Formaciones Inca – Chulec y Chulec – Pariatambo; siendo de importancia la Formación Chulec para el estudio e investigación en sí.

6.2 SECUENCIA TRANSGRESIVA

6.2.1 *FORMACIÓN INCA*

Esta Formación suprayace concordantemente con la Formación Farrat, siendo de coloración fuertemente rojiza, debido al intemperismo que provoca la oxidación de los minerales ferruginosos presentes en las lutitas. Esta formación se encuentra con una dirección de SE-NW.

Las características litológicas como areniscas calcáreas con intercalaciones de lutitas ferruginosas y limonita se pueden apreciar en diversos estratos plegados del sinclinal Puyllucana.

6.2.1.1 EDAD, AMBIENTE DEPOSICIONAL Y POTENCIA.

La edad de la Formación Inca ha sido asignada en base a las pruebas fosilíferas de la especie Parahoplites siendo atribuida entre el Aptiano superior – Albiano inferior.

El ambiente deposicional está caracterizado por un mar de poco profundidad con corrientes turbulentas y bien oxigenado. La potencia de esta Formación varía entre los 80 m. y 100 metros.

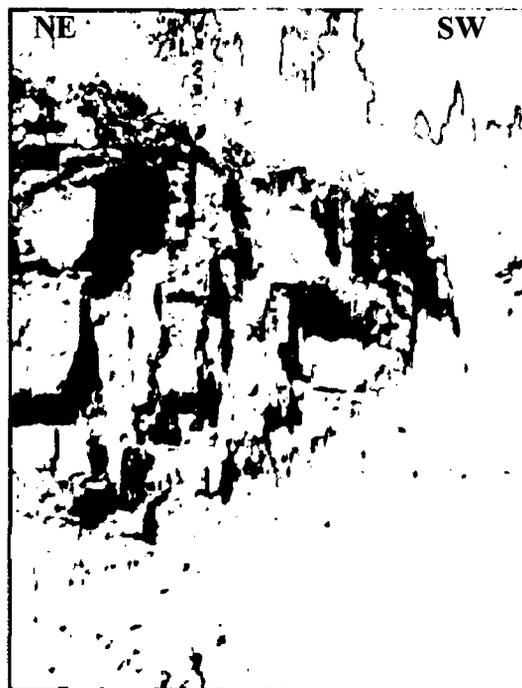


Foto N° 06: Estratos de la Formación Inca; nótese la intercalación de las areniscas calcáreas con las lutitas ferruginosas, las cuales son las que le dan la coloración rojiza.

Ubicación: Puyllucana.

UTM: N: 9209127 E: 782020 Cota: 2834 m.s.n.m Foto: Fm-In.

6.2.2 GRUPO CRISNEJAS

6.2.2.1 FORMACIÓN CHULEC

La Formación Chulec manifiesta una secuencia fosilífera, depositada a lo ancho de su registro litoestratigráfico. Litológicamente consta de una alternancia de calizas, calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas nodulosas; las que por intemperismo adquieren un color crema – amarillento.

Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Estas calizas con lutitas se las puede encontrar contenidas en un suelo de carácter terroso amarillento, y el color de las calizas es de color gris parduzco con tendencias azuladas.

6.2.2.1.1 EDAD, AMBIENTE DEPOSICIONAL Y POTENCIA

La edad de la Formación Chulec está catalogada como del Albiano inferior – Albiano medio, en base al registro fósil descrito por Benavides (1956), como lo son el *Paregonoceras n. sp.* y el *Douvilleiceras sp.* Ambos cefalópodos bien distribuidos en estos pisos en el periodo cretáceo. El ambiente deposicional es sugerido según E.JAILLARD et al (2002), como un mar sensu stricto (desaparición del componente detrítico) con variaciones de profundidad en una rampa carbonatada de medio abierto con baja energía (ausencia de barrera) y relativamente profundo. La potencia de la Formación Chulec fluctúa entre 220 m. a 280 metros.

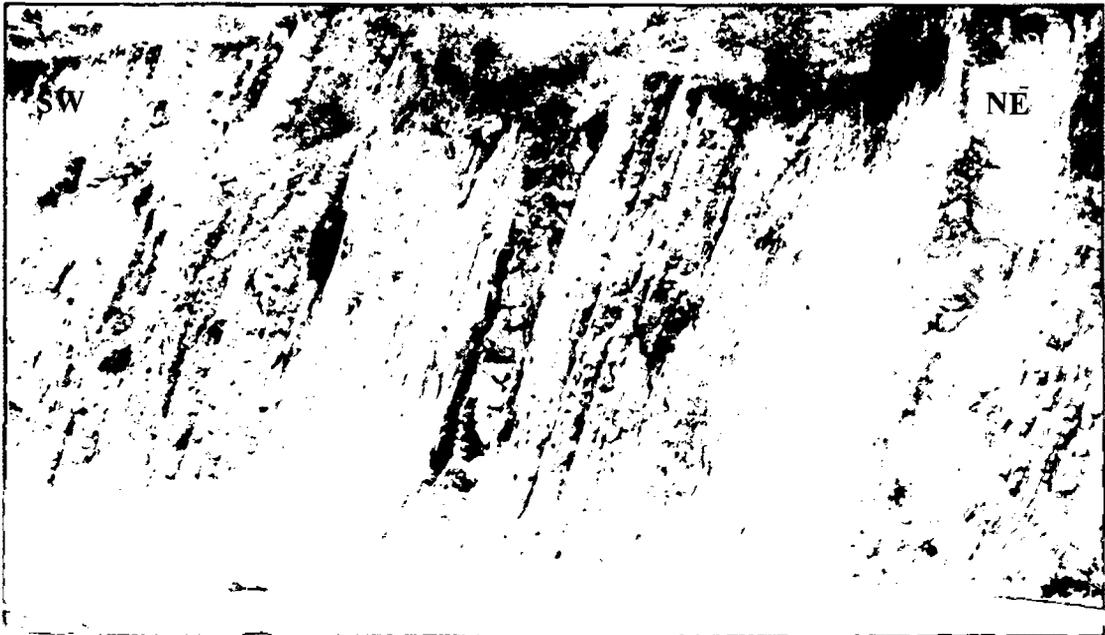


Foto N° 07: Estratos de la Formación Chulec, obsérvese la alternancia litológica entre los bancos de calizas, lutitas y margas nodulares.

Ubicación: Puyllucana.

UTM: N: 9209058 E: 782026 Cota: 2854 m.s.n.m Foto: Fm-Ch.

6.2.2.2 *FORMACIÓN PARIATAMBO*

Esta Formación yace concordantemente con la formación Chúlec e infrayace, con suave discordancia la formación Yumagual. Consiste en una alternancia de lutitas con lechos delgados de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silicios y dolomíticos, con un color fétido al fracturarlas.

La Formación Pariatambo contiene generalmente restos de moluscos, entre los que predominan especies de origen pelágico siendo la *Oxitropidoceras carbonarium* el fósil guía del Albiano medio – Albiano superior (BENAVIDES, 1956).

6.2.2.2.1 *EDAD, AMBIENTE DEPOSICIONAL Y POTENCIA*

La edad de la Formación Pariatambo ha sido asignada en base al registro fósil de la *Oxitropidoceras carbonarium* determinándola en el Albiano medio – Albiano superior. La potencia fluctúa entre los 180 m. y 200 metros aproximadamente.



Foto N° 08: Contacto litológico (Zona transicional entre la Formación Chulec con Pariatambo), al NE se puede apreciar el piso de la Formación Pariatambo con bancos de calizas nodulares menos potentes.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9209850 E: 782326 Cota: 3071 m.s.n.m Foto: Fm-Ch.

6.3 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

6.3.1 *DEPÓSITOS LAGUNARES*

Estos depósitos de origen lagunar han sido asignados al Pleistoceno y consta de una serie de detritos compuesto por arenas, arcillas y limos.

6.3.2 *DEPÓSITOS ALUVIALES - FLUVIALES*

Estos depósitos en su gran mayoría provenientes de la erosión y meteorización actual (Holoceno), constan de clastos irregulares que van desde el tipo angulosos hasta sub angulosos; mientras que en las zonas de drenaje los hay del tipo redondeados a sub redondeados producto del transporte y rodamiento por las aguas de escorrentía.



Foto N° 09: Material cuaternario Holocénico en las inmediaciones del Centro Poblado de Santa Úrsula.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9209358 E: 782072 Cota: 2871 m.s.n.m Foto: Fm-Ch.

CAPÍTULO VII

PALEONTOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN CHULEC

7.1 CARACTERÍSTICAS PALEONTOLÓGICAS

Los fósiles estudiados han sido descritos siguiendo la clasificación biológica Linneana, es decir, estudiando la morfología de cada Phylum presente a lo largo de toda la Formación Chulec y en distintas áreas correspondientes a una misma zona; no obstante la datación ha sido asignada por comparación a especies tipo, datadas en ambientes análogos.

La Formación Chulec consta de una variedad importante de fósiles de entre los cuales se ha reconocido los siguientes Phylums:

7.1.1 *PHYLUM MOLLUSCA*

7.1.1.1 *CLASE BIVALVIA*

Esta clase abunda de manera profusa y se los encuentra desde los inicios de la depositación (piso) hasta finales de esta (techo); marcando un apogeo existencial a inicios, mediados y finales del desarrollo de la Formación Chulec.

7.1.1.2 *CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y MORFOMÉTRICAS*

En la gran mayoría de bivalvos analizados se logra definir aun que las dos valvas se encuentran unidas dorsalmente y que por el desarrollo en el crecimiento de estas podemos deducir que la acreción de carbonato cálcico alrededor de las valvas ha estado sujeto a variaciones del tipo filogenético antes que del ontogenético. En ninguno de los especímenes fósiles se ha logrado conservar el periostraco y sólo se logra observar partes del ostraco las cuales han sido reemplazadas por carbonato de calcio. La orientación de las valvas en muchos de ellos denota que el margen posterior se encuentra más desarrollado que el margen anterior por lo que los umbos son mayoritariamente del tipo prosógiro. Por otro lado las características morfométricas no suelen demostrar variación por género y es muy posible que este fenómeno se deba a la existencia de ambientes moderadamente ricos en oxígeno con una población naturalmente controlada en un sistema de mar abierto.

7.1.1.3 *REGISTRO FOSILÍFERO DE LA CLASE BIVALVIA.*

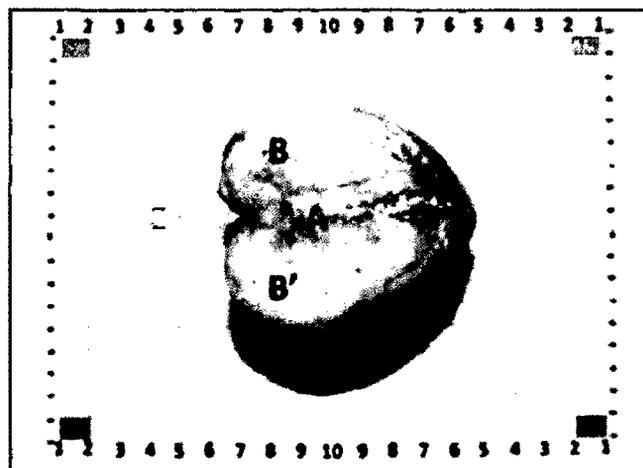


Foto N° 10: Vista frontal de un *Cucullaea* sp. En donde A = Escudo del bivalvo, B y B' = valva derecha e izquierda; C = Charnela de la *Cucullaea*.

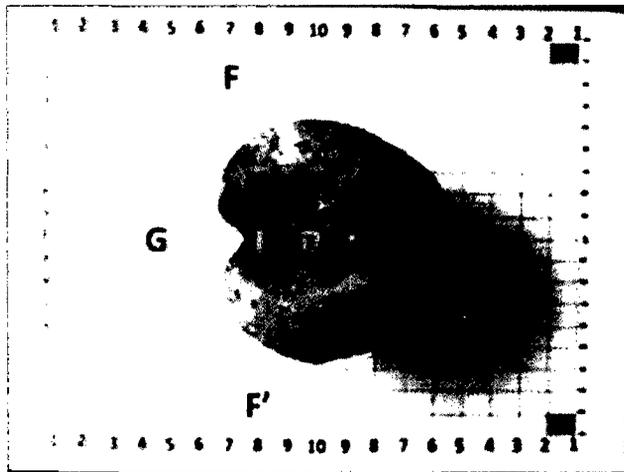


Foto N° 11: Vista frontal de una *Cucullaea* sp. En donde D = Escudo del bivalvo, F y F' = Umbo posterior e umbo anterior; E = Área ligamentaria de la *Cucullaea*; G = Región dorsal del bivalvo.

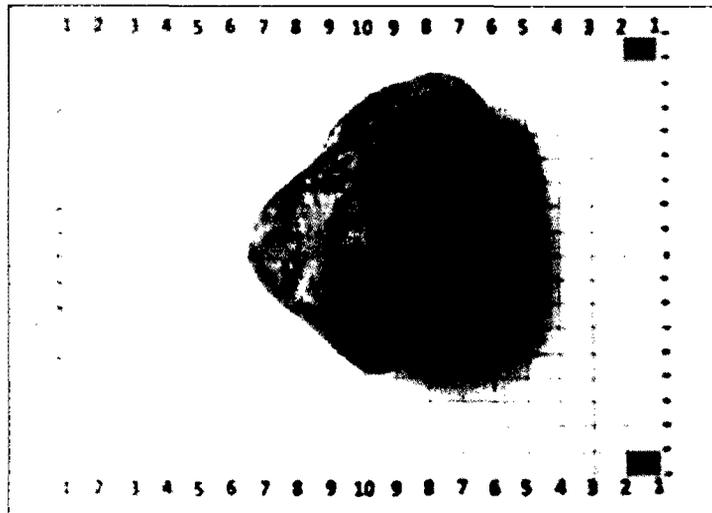


Foto N° 12: Vista de la valva anterior de una *Cucullaea* sp. En donde se puede observar el desarrollo del umbo (H) anterior de esta y la curvatura que hace; denotando ser del tipo prosógiro.

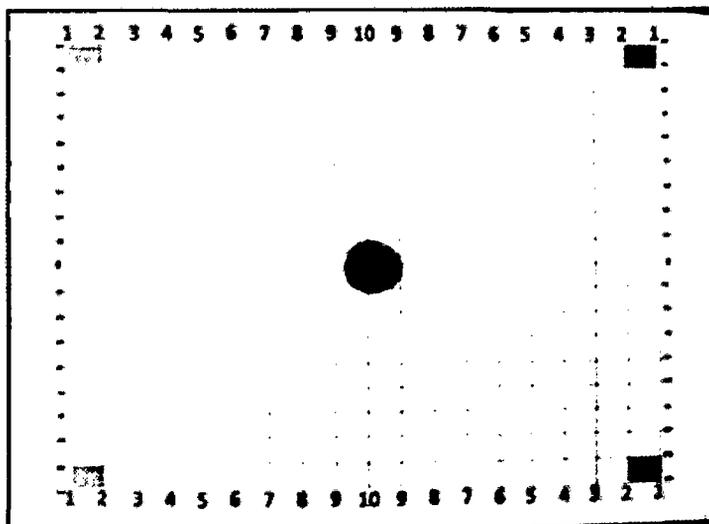


Foto N° 13: Vista posterior de un Arca sp.

7.1.1.4 CLASE GASTRÓPODA

Esta clase aparece con relativa abundancia entre el contacto de la Formación Inca con la Formación Chulec (zona transicional entre ambas formaciones) y se extiende en toda la parte inferior de la Formación Chulec para luego reaparecer en la parte superior (techo) y en la zona transicional con la Formación Pariatambo.

7.1.1.5 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y MORFOMÉTRICAS

Casi todos los gasterópodos que han sido analizados presentan una concha calcárea de una sola pieza, en donde el helicono se enrolla repetidamente sobre el eje del ápice.

La orientación de la concha es indistinta denotando una peculiaridad en el sentido en el que se desarrolla el helicono, siendo en algunos especímenes del tipo dextrógira y en otros del tipo levógira. Muchos de los individuos fósiles son especímenes juveniles y esto queda constatado en la protoconcha, la cual no alcanza el desarrollo completo hasta llegar al de un adulto (teleoconcha). Es probable que el desarrollo de la concha o del helicono a tamaños cortos y medianos haya sido producto de una mejora en la funcionalidad de esta clase a través de las variaciones en la profundidad del mar; no obstante el no contar con accesorios como espinas u expansiones que les permitan aferrarse al sustrato fangoso blando hace reflexión a estas variaciones en la profundidad

más aún con zonificaciones halladas en el piso y techo de la Formación (zonas intertransicionales).

7.1.1.6 REGISTRO FOSILÍFERO DE LA CLASE GASTRÓPODA

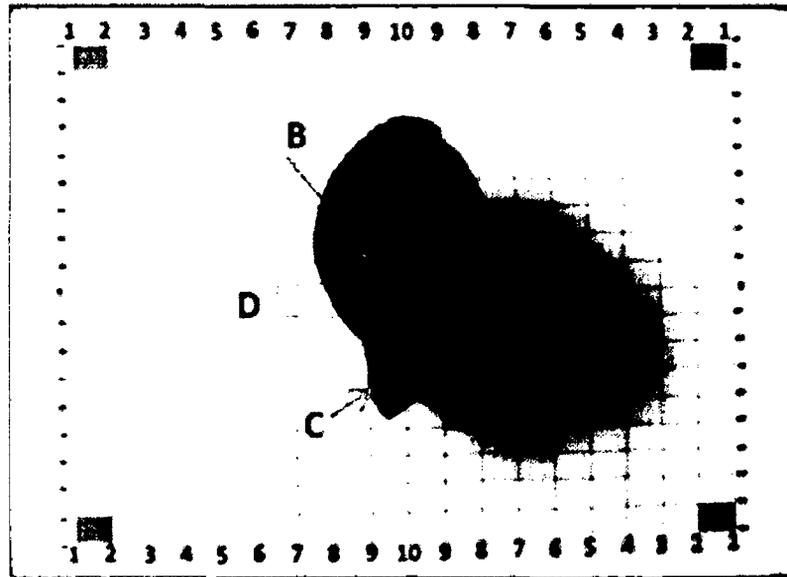


Foto N° 14: Vista frontal de un *Tylostoma* sp. En donde A = Ápice del gasterópodo, B = Línea de sutura; C = Abertura; D = Vuelta.

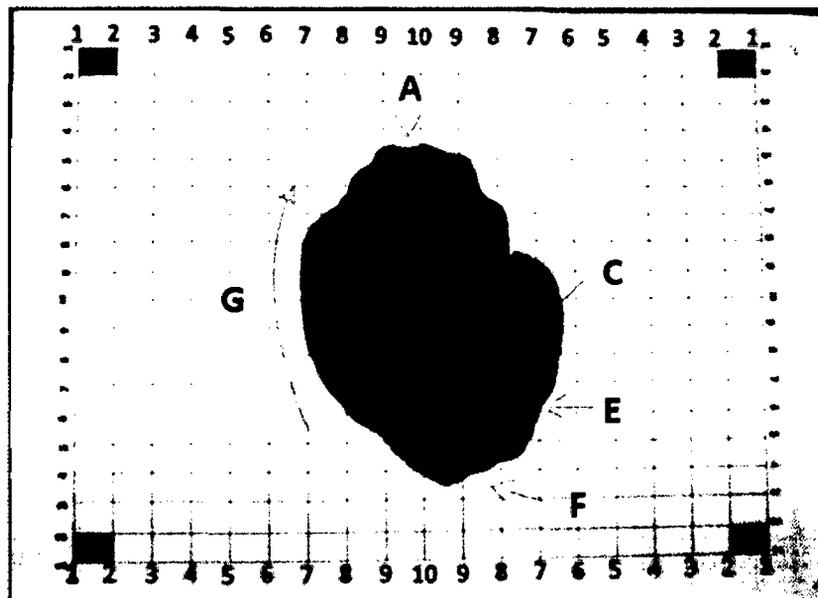


Foto N° 15: Vista de Perfil de un *Tylostoma* sp. En donde A = Ápice del gasterópodo, C = Abertura; E = Labro; F = Lugar donde debería estar el canal sifonal y G = Dirección de la concha del Gasterópodo, en este caso es en sentido Adapical.

7.1.1.7 CLASE CEPHALÓPODA

Esta quizás es sin duda alguna la Clase, a la cual la Formación Chulec hace gala ya que comprende estadios de desarrollo morfométrico formidables durante este lapso de tiempo que luego después no lograrían volver a desarrollar sino hasta tiempo después como es el caso del calamar gigante del Atlántico Norte. Quizás de todos ellos los ammonoideos de gran tamaño son el fósil representativo de la Formación Chulec. Los cefalópodos aparecen en el estadio medio de desarrollo de la Formación, logrando tamaños gigantes y se extienden hasta los límites de esta, con la Formación Pariatambo.

7.1.1.8 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y MORFOMÉTRICAS

Morfológicamente es poco probable que la concha de estos especímenes se haya preservado en su condición original, no obstante se tiene bien conservado en forma de moldes la forma de la concha externa. En los especímenes analizados se logra ver a duras penas la concha, la cual está dividida en cámaras, separadas entre sí por los septos los cuales debieron estar conectados por el sifúnculo. Así mismo en pocos de estos se ha logrado conservar las líneas de sutura y en la mayoría se puede observar variados tipos de ornamentación que van desde espinas hasta bullas. El rápido desarrollo de esta clase apunta a un crecimiento faunístico por aquel entonces en los que la capacidad de subsistir a los ataques de depredadores fue de la mano con el de alcanzar mejoras en la funcionalidad física.

7.1.1.9 REGISTRO FOSILÍFERO DE LA CLASE CEPHALÓPODA

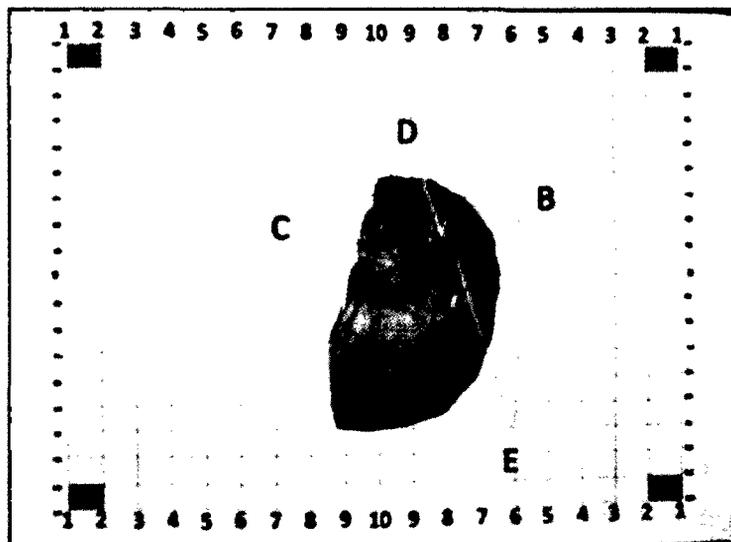


Foto N° 16: Vista de Perfil de un *Knemiceras attenuatum* HYATT. En donde A = Cámara de habitación del cefalópodo, B = Área ventral; C = Área dorsal; D = Septos y E = Cámaras internas del cefalópodo, en este caso se han logrado conservar asombrosamente.

7.1.2 PHYLUM ECHINODERMATA

Aunque este Phylum es abundante en la Formación; se han encontrado pocos especímenes para analizar, sin embargo son de gran ayuda ya que su hábitat y tipo de vida explican ambientes salobres más no de aguas dulces.

7.1.2.1 *CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y MORFOMÉTRICAS*

Por lo general los equinodermos presentan un esqueleto interno formado por placas de calcita porosas las cuales son denominadas osículos o espículas; normalmente los esqueletos presentan simetría pentámera radial. El resto de partes como el sistema ambulacral y los podios se pierden durante el proceso de fosilización.

7.1.2.2 *REGISTRO FOSILÍFERO DEL PHYLUM ECHINODERMATA*

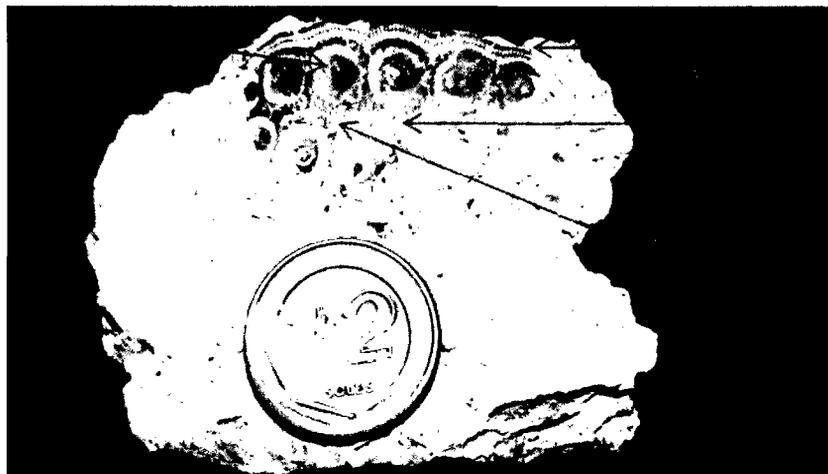


Foto N° 17: Vista de frontal de un fragmento de *Cyphosoma Texanum* ROEMER. En donde A = Placas del equinoideo, B = tubérculo; C = Fasciola; D = líneas de sutura.

7.2 CARACTERÍSTICAS BIOESTRATIGRÁFICAS

Bioestratigráficamente se ha tipificado a la Formación Chúlec por la presencia y contenido de fósiles en Biozonas, las cuales a su vez se subdividen en otras subzonas, como se puede observar en la figura N° 59. La determinación de una cronozona representa a todas las rocas depositadas en el mundo en el transcurso del tiempo en que la especie vivió. Esto es una abstracción puesto que jamás se podrá establecer físicamente con exactitud la relación: especie – roca – tiempo si tenemos en cuenta las velocidades de evolución como la presencia de barreras que limitan la dispersión geográfica.

Es por esto que siguiendo las determinaciones litoestratigráficas y bioestratigráficas se ha diseñado para un mejor estudio y zonación de éstas unidades en la Formación Chulec el siguiente esquema (Ver Fig. N°54).

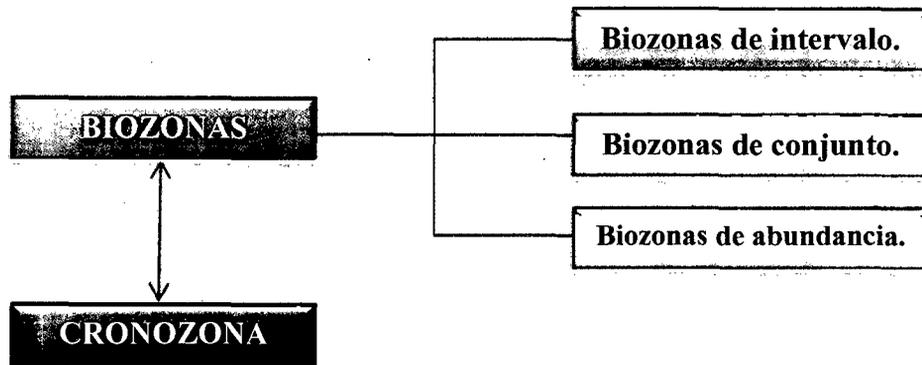


Figura N° 54: Tipificación de las Unidades Bioestratigráficas para la Formación Chúlec.

7.2.1 BIOZONAS

En la zona de estudio se han registrado un total de 31 biozonas (para mejor comprensión revisar anexos – plano de Biozonas), cada una documentada en el registro bioestratigráfico; de las cuales 9 resultaron ser biozonas de intervalo, 17 resultaron ser biozonas de conjunto y las otras 3 resultaron ser biozonas de abundancia. Cada una de estas zonas registra parámetros zonales bioestratigráficos característicos los cuales se detallan en la Tabla N° 10 a continuación:

REGISTRO BIOESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN CHÚLEC.				
Nº de registro	TIPOS DE BIOZONA			
	Área (m2)	BIOZONA DE INTERVALO	BIOZONA DE CONJUNTO	BIOZONA DE ABUNDANCIA
Fm-Ch/Bio-0001	27.5	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0002	33	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0003	40	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0004	23	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0005	46.5	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0006	45.5	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0007	29	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0008	26	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0009	22	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0010	33	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0011	39.5	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0012	45	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0013	54	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0014	17.5	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0015	23	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0016	22	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0017	19	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0018	15.8	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0019	17	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0020	21	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0021	29.5	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0022	35	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0023	22	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0024	26	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0025	22	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0026	25	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0027	32	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0028	38	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0029	27.5	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0030	31.8	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0031	28.3	0	1	0
SUBTOTALES	916.4	7	21	3

AREA TOTAL	916.4
-------------------	--------------

TOTAL DE BIOZONAS	31
--------------------------	-----------

Tabla Nº 10: Registro bioestratigráfico para la Formación Chulec.

CAPÍTULO VIII

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

8.1 CALIZAS ARENOZAS

Se presentan en tonalidad pardo amarillenta a pardo rojizas en bancos de mediana potencia con una textura del tipo Grainstone, la cual se encuentra conformada por detritos clásticos, como lo son los granos de arena. Estos estratos conforman a su vez alternancia con las lutitas calcáreas en el piso de la Formación Chulec en la zona transicional con el techo de la Formación Inca. Además presenta abundancia de fósiles de la clase Gastrópoda y Bivalvia. La presencia de detritos manifiesta un ambiente de alta energía con posibles flujos laterales de nuevos aportes.

8.2 CALIZAS

Se observan en alternancia con las lutitas calcáreas, margas bioturbadas y las margas nodulosas, teniendo tonalidades grises y en muestras frescas hasta azuladas. Se presenta en bancos de tamaño variado con una textura del tipo Wackestone y con abundante presencia fosilífera de Bivalvos y Cephalópodos.

8.3 LUTITAS CALCÁREAS

Están conformadas por una variación de colores los cuales van desde tonalidades grises a gris amarillento. Se presenta en bancos de corta potencia intercalados con calizas y margas nodulares, con una textura del tipo Mudstone con presencia fosilífera de Bivalvos y Gasterópodos.

8.4 MARGAS NODULARES

Poseen una tonalidad crema amarillenta con presencia de ammonites y Bivalvos de gran tamaño. Su potencia varía desde bancos cortos hasta grandes y constan de una textura del tipo Wackestone.

8.5 MARGAS BIOTURBADAS

Se presentan en tonalidad parda anaranjada a gris amarillentas con abundancia fosilífera en Bivalvos pequeños. La textura es del tipo Wackestone y sus bancos son de mediana potencia intercalada con los estratos de calizas y lutitas calcáreas.

CAPÍTULO IX

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

9.1 RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN

9.1.1 CLASIFICACIÓN DEL REGISTRO FÓSIL

Para la realización de la clasificación del registro fósil presente en la zona de estudio, se realizaron los siguientes pasos:

1. Creación de un registro de las Biozonas halladas en la zona de estudio.
2. Creación de un inventario de los fósiles catalogados en campo.
3. Creación de un inventario de los fósiles analizados en gabinete.
4. Con ayuda del software PAST (paleontological statistics software package for education and data analysis). Se crea el registro como base de datos para luego esta data ser empleada en el control bioestratigráfico para secuencias faunísticas en la dispersión estratigráfica de la Formación Chúlec.

Paso 1: CREACIÓN DEL REGISTRO DE BIOZONAS.

Se organiza toda la data obtenida en campo y se la cataloga cualitativamente y cuantitativamente en gabinete; luego se la procesa en hojas de cálculo en el programa Excel, tal y como se observa en la figura N° 55.

REGISTRO BIOESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN CHULEC.				
Nº de registro	TIPOS DE BIOZONA			
	Área (metros)	BIOZONA DE INTERVALO	BIOZONA DE CONJUNTO	BIOZONA DE ABUNDANCIA
Fm-Ch/Bio-0001	44	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0002	12	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0003	40	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0004	23	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0005	46,5	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0006	45,5	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0007	12	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0008	26	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0009	22	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0010	33	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0011	39,5	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0012	45	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0013	54	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0014	17,5	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0015	29	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0016	22	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0017	19	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0018	15,8	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0019	11	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0020	21	0	0	1
Fm-Ch/Bio-0021	8	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0022	35	0	1	0
Fm-Ch/Bio-0023	11	1	0	0
Fm-Ch/Bio-0024	26	0	0	1

Figura N° 55: Creación del registro de Biozonas mediante una tabla en Excel.

Paso 2: CREACIÓN DEL INVENTARIO PARA FÓSILES CATALOGADOS EN CAMPO.

Con el mismo procedimiento del Paso 1 se organiza la data, pero esta vez será toda la información recopilada en campo, e igualmente se procesa en otra hoja de Excel, tal como se aprecia en la Figura N° 56.

N° de Registro	Campo	Lugar	Clase	Especie	Cantidad	Filum	Subfilum	Clase	Especie
Fm-CH.Fós.Camp.-0001	Bivalvia	Heterocoeloma	Trigona afi. T. peruviana GABB	28	Echinoides	Echinocera		Cornholotegus planatus numismatis GABB	
Fm-CH.Fós.Camp.-0002	Bivalvia	Heterocoeloma	Bufostrigona abrupta (VON BUCH)	22	Echinoides	Echinocera		Pyrotophous compressus GABB	
Fm-CH.Fós.Camp.-0003	Bivalvia	Heterocoeloma	Trigona cf. T. stewarti STEINMANN	10	Echinoides	Echinocera		Bothiopsis compressus GABB	
Fm-CH.Fós.Camp.-0004	Bivalvia	Heterocoeloma	Bufostrigona abrupta (VON BUCH)	9	Echinoides	Echinocera		Diplopora testatum ROEMER	
Fm-CH.Fós.Camp.-0005	Bivalvia	Pteriomorpha	Esogga mihos (COQUAND)	35	Echinoides	Echinocera		Hemistaster peruviana GABB	
Fm-CH.Fós.Camp.-0006	Bivalvia	Pteriomorpha	Esogga lewisiana D'ORBIGNY	49	Echinoides	Echinocera		Hemistaster peruviana GABB	
Fm-CH.Fós.Camp.-0007	Bivalvia	Pteriomorpha	Oreca cf. O. sophia (COQUAND)	9	Echinoides	Echinocera		Phenacoma testatum ROEMER	
Fm-CH.Fós.Camp.-0008	Bivalvia	Pteriomorpha	Esogga sp.	20	Echinoides	Echinocera		Tetragamma malbosii (AGASSIZ)	
Fm-CH.Fós.Camp.-0009	Bivalvia	Pteriomorpha	Esogga mermel (COQUAND)	13	Echinoides	Echinocera		Hemistaster (Meester) of. H. (M.) founell DESHAYE	
Fm-CH.Fós.Camp.-0010	Bivalvia	Pteriomorpha	Esogga Africana LAMARCK	23	Echinoides	Echinocera		Hemistaster of. H. founell DESHAYE	
Fm-CH.Fós.Camp.-0011	Bivalvia	Pteriomorpha	Costagra diploporalis (SHARPE)	20	Echinoides	Echinocera		Salmia of. S. hondoensis	
Fm-CH.Fós.Camp.-0012	Bivalvia	Pteriomorpha	Oreca Caplan COQUAND	29	Echinoides	Echinocera		Salmia sp.	
Fm-CH.Fós.Camp.-0013	Cephalopoda	Prosostranlia	Nereis sp.	8	Echinoides	Echinocera		Nucleolites subquadratus D'ORBIGNY	
Fm-CH.Fós.Camp.-0014	Cephalopoda	Prosostranlia	Actaeonella sp.	15	Echinoides	Echinocera		Echinobolites subquadratus D'ORBIGNY	
Fm-CH.Fós.Camp.-0015	Cephalopoda	Ammonoidea	Prochiloberas peruviana SPATH	28	Echinoides	Echinocera		Pseudodiatema rotundum var. Puzosense FRITSCHE	
Fm-CH.Fós.Camp.-0016	Cephalopoda	Ammonoidea	Paranoceras pernodosum (SCHMIDTMEIER)	34	Echinoides	Echinocera		Cornholotegus planatus ROEMER	
Fm-CH.Fós.Camp.-0017	Cephalopoda	Ammonoidea	Nucleolites sp.	7					
Fm-CH.Fós.Camp.-0018	Cephalopoda	Ammonoidea	Lepidoceras Ulrich KNECHTEL	42					
Fm-CH.Fós.Camp.-0019	Cephalopoda	Ammonoidea	Ostrochoceras douglasi KNECHTEL	50					
Fm-CH.Fós.Camp.-0020	Cephalopoda	Ammonoidea	Manueliceras carbonarium (GABB)	3					
Fm-CH.Fós.Camp.-0021	Cephalopoda	Ammonoidea	Kwinioceras Richmond LISON	21					
Fm-CH.Fós.Camp.-0022	Cephalopoda	Ammonoidea	Protanoceras Mitchell (FRETET & CAMPIGNET)	5					
Fm-CH.Fós.Camp.-0023	Cephalopoda	Ammonoidea	Lepidoceras pseudocellii (PARONA & BONARELLI)	8					

Heterocoeloma	74
Pteriomorpha	156
Prosostranlia	33
Ammonoidea	196
Cephalopoda	196

Bivalvia	272
Cephalopoda	33
TOTAL DECLAR.	305

Figura N° 56: Creación del Inventario de Fósiles catalogados en campo mediante una tabla en Excel.

Paso 3: CREACIÓN DEL INVENTARIO PARA FÓSILES CATALOGADOS EN GABINETE.

Igual que en los Pasos 1 y 2 se organiza y se cataloga la información; pero esta vez a información es rigurosamente analizada y comparada ya que muchas de las muestras fósiles anatómicamente son difíciles de definir o conceptualizar en una posible especie. Figura N° 57.

INVENTARIADO DE LOS FÓSILES CATALOGADOS EN CAMPO.

Filium Molhusca				
N° de Registro	Clase	Sub Clase	Especie	Cantidad
Fm-Ch/Fós.Gab - 0001	Bivalvia	Pteriomorpha	Neithea momisi PICTET & RENEVIER	10
Fm-Ch/Fós.Gab - 0002	Bivalvia	Pteriomorpha	Neithea sp.	2
Fm-Ch/Fós.Gab - 0003	Bivalvia	Pteriomorpha	Inoceramus duvenaguanensis MC. LEAN	5
Fm-Ch/Fós.Gab - 0004	Bivalvia	Pteriomorpha	Spondylus cf. S. spinosus DESHAYES	1
Fm-Ch/Fós.Gab - 0005	Bivalvia	Pteriomorpha	Inoceromya concentrica PARKER	25
Fm-Ch/Fós.Gab - 0006	Bivalvia	Pteriomorpha	Astarte debakidens GERHARDT	19
Fm-Ch/Fós.Gab - 0007	Bivalvia	Heteroconchia	Pholadomya elliptica formis BERRY	3
Fm-Ch/Fós.Gab - 0008	Bivalvia	Paleotaxodontos	Tellina sp.	3
Fm-Ch/Fós.Gab - 0009	Bivalvia	Paleotaxodontos	Cucullaea brevis GERHARDT	2

	Pteriomorpha	62
	Heteroconchia	3
	Paleotaxodontos	5
TOTAL DE CLASE	Bivalvia	70

Figura N° 57: Creación del Inventario de Fósiles catalogados en Gabinete mediante una tabla en Excel.

Paso 4: CREACIÓN DEL REGISTRO COMO BASE DE DATOS PARA LA APLICACIÓN EN EL CONTROL BIOESTRATIGRÁFICO PARA SECUENCIAS FAUNÍSTICAS EN LA DISPERSIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN CHULEC.

Una vez ya catalogada y procesada la data en Excel, se inicia exportando la hoja de Excel que nos ayude a crear nuestra base de datos en PAST; para esto en el programa se realiza un cálculo rápido de todas nuestras variables, así el PAST resume la data en unas columnas tipo Excel la cual a su vez semeja a la tabla de frecuencias, la cual sirve para ordenar, agrupar y resumir toda la información, tanto de campo, como de gabinete. Luego en PAST seleccionamos dichas columnas y en la opción Plot elegimos el cálculo de la SurvivorShip Curve (Curva de Supervivencia); la cual de manera automática nos arroja la tendencia estadística de sobrevivencia de todas especies analizadas (Población) en forma gráfica. La grafica muestra el número de especies que sobrevivieron en el tiempo y el crecimiento exponencial del tamaño de estas. Figura N° 58.

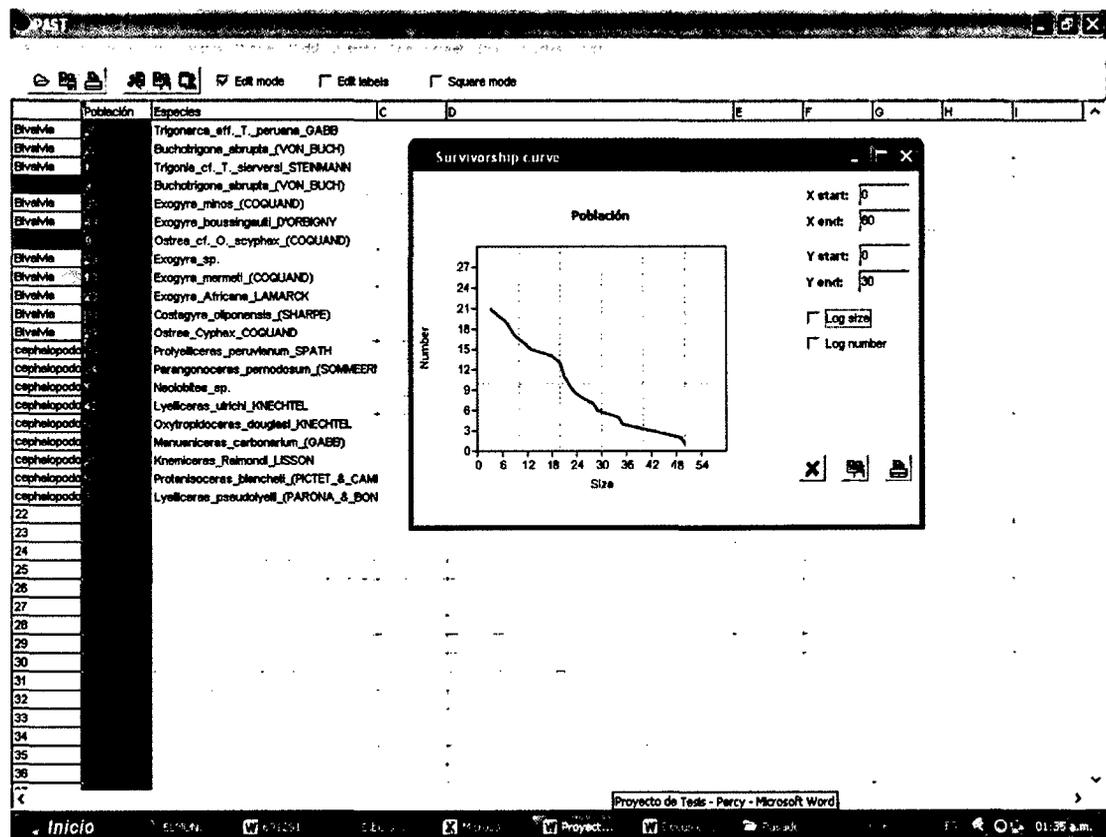


Figura N° 58: Creación del Inventario de Fósiles catalogados en Campo y Gabinete mediante una tabla en el programa Past.

9.2 *TRATAMIENTO ESTADÍSTICO PARA EL CONTROL BIOESTRATIGRÁFICO DE LAS SECUENCIAS FAUNÍSTICAS EN LA DISPERSIÓN ESTRATIGRÁFICA*

La realización del control bioestratigráfico ha sido desarrollada mediante la utilización de programas como el Excel y del Past; el método aplicado para este tratamiento es estadística descriptiva.

A continuación se detalla en las siguientes tablas la información cuantificada y cualificada para cada Phylum; en donde siguiendo el mismo procedimiento que en los pasos 1, 2 y 3 se procederá a procesarla en hojas de cálculo de Excel, las cuales posteriormente servirán para crear el control bioestratigráfico.

N° de Registro	Phylum Mollusca			
	Clase	Sub Clase	Especie	Cantidad Aprox.
Fm-Ch/Fós.Camp - 0001	Bivalvia	Heteroconchia	Trigonarca aff. T. peruana GABB	25
Fm-Ch/Fós.Camp - 0002	Bivalvia	Heteroconchia	Buchotrigona abrupta (VON BUCH)	22
Fm-Ch/Fós.Camp - 0003	Bivalvia	Heteroconchia	Trigonia cf. T. sierversi STEINMANN	18
Fm-Ch/Fós.Camp - 0004	Bivalvia	Heteroconchia	Buchotrigona abrupta (VON BUCH)	9
Fm-Ch/Fós.Camp - 0005	Bivalvia	Pteriomorphia	Exogyra minus (COQUAND)	35
Fm-Ch/Fós.Camp - 0006	Bivalvia	Pteriomorphia	Exogyra boussingaulti D'ORBIGNY	49
Fm-Ch/Fós.Camp - 0007	Bivalvia	Pteriomorphia	Ostrea cf. O. scyphax (COQUAND)	9
Fm-Ch/Fós.Camp - 0008	Bivalvia	Pteriomorphia	Exogyra sp.	20
Fm-Ch/Fós.Camp - 0009	Bivalvia	Pteriomorphia	Exogyra mermeti (COQUAND)	13
Fm-Ch/Fós.Camp - 0010	Bivalvia	Pteriomorphia	Exogyra Africana LAMARCK	23
Fm-Ch/Fós.Camp - 0011	Bivalvia	Pteriomorphia	Costagyra oliponensis (SHARPE)	20
Fm-Ch/Fós.Camp - 0012	Bivalvia	Pteriomorphia	Ostrea Cyphax COQUAND	29
Fm-Ch/Fós.Camp - 0013	Gastrópoda	Prosobranchia	Nerinea sp.	18
Fm-Ch/Fós.Camp - 0014	Gastrópoda	Prosobranchia	Actaeontella sp.	15

Tabla N° 11: Datos para el control bioestratigráfico.

N° de Registro	Phylum Echinodermata			
	Clase	Sub Filium	Especie	Cantidad
Fm-Ch/Fós.Camp - 0001	Echinoidea	Echinozoa	Coenholectypus planatus numismalis GABB	18
Fm-Ch/Fós.Camp - 0002	Echinoidea	Echinozoa	Pygorhynchus compressus GABB	11
Fm-Ch/Fós.Camp - 0003	Echinoidea	Echinozoa	Bothriopygus compressus GABB	4
Fm-Ch/Fós.Camp - 0004	Echinoidea	Echinozoa	Diplopodia texanum ROEMER	10
Fm-Ch/Fós.Camp - 0005	Echinoidea	Echinozoa	Hetereaster peruanus GABB	9
Fm-Ch/Fós.Camp - 0006	Echinoidea	Echinozoa	Enallaster peruanus GABB	13
Fm-Ch/Fós.Camp - 0007	Echinoidea	Echinozoa	Phymosoma texanum ROEMER	5
Fm-Ch/Fós.Camp - 0008	Echinoidea	Echinozoa	Tetragramma malbossi (AGASSIZ)	12
Fm-Ch/Fós.Camp - 0009	Echinoidea	Echinozoa	Hemiaster (Mecaster) cf. H. (M.) fourneli DESHAYES	7
Fm-Ch/Fós.Camp - 0010	Echinoidea	Echinozoa	Hemiaster cf. H. fourneli DESHAYES	15
Fm-Ch/Fós.Camp - 0011	Echinoidea	Echinozoa	Salenia cf. S. hondoensis	19
Fm-Ch/Fós.Camp - 0012	Echinoidea	Echinozoa	Salenia sp.	22
Fm-Ch/Fós.Camp - 0013	Echinoidea	Echinozoa	Nucleolites subquadratus D'ORBIGNY	6
Fm-Ch/Fós.Camp - 0014	Echinoidea	Echinozoa	Echynobrissus subquadratus D'ORBIGNY	13
Fm-Ch/Fós.Camp - 0015	Echinoidea	Echinozoa	Pseudodiadema rotulare var. Pucaense FRITCHE	21
Fm-Ch/Fós.Camp - 0016	Echinoidea	Echinozoa	Coenholectypus planatus ROEMER	3

Tabla N° 12: Datos para el control bioestratigráfico.

N° de Registro	Fillum Mollusca			Cantidad Aprox.
	Clase	Sub Clase	Especie	
Fm-Ch/Fós.Camp - 0015	Cephalopoda	Ammonoidea	Prolyelliceras peruvianum SPATH	28
Fm-Ch/Fós.Camp - 0016	Cephalopoda	Ammonoidea	Paragonoceras pernodosum (SOMMEERMEIER)	34
Fm-Ch/Fós.Camp - 0017	Cephalopoda	Ammonoidea	Neolobites sp.	7
Fm-Ch/Fós.Camp - 0018	Cephalopoda	Ammonoidea	Lyelliceras ulrichi KNECHTEL	42
Fm-Ch/Fós.Camp - 0019	Cephalopoda	Ammonoidea	Oxytropidoceras douglasi KNECHTEL	50
Fm-Ch/Fós.Camp - 0020	Cephalopoda	Ammonoidea	Manuaniceras carbonarium (GABB)	3
Fm-Ch/Fós.Camp - 0021	Cephalopoda	Ammonoidea	Knemiceras Raimondi LISSON	21
Fm-Ch/Fós.Camp - 0022	Cephalopoda	Ammonoidea	Protanisoceras blancheti (PICTET & CAMPICHE)	5
Fm-Ch/Fós.Camp - 0023	Cephalopoda	Ammonoidea	Lyelliceras pseudolyelli (PARONA & BONARELLI)	8
Fm-Ch/Fós.Gab - 0001	Bivalvia	Pteriomorpha	Neithea morrissi PICTET & RENEVIER	10
Fm-Ch/Fós.Gab - 0002	Bivalvia	Pteriomorpha	Neithea sp.	2
Fm-Ch/Fós.Gab - 0003	Bivalvia	Pteriomorpha	Inoceramus duvenganensis MC. LEAN	5
Fm-Ch/Fós.Gab - 0004	Bivalvia	Pteriomorpha	Spondylus cf. S. spinosus DESHAYES	1
Fm-Ch/Fós.Gab - 0005	Bivalvia	Pteriomorpha	Inoceramya concentrica PARKER	25
Fm-Ch/Fós.Gab - 0006	Bivalvia	Pteriomorpha	Astarte debilidens GERHARDT	19
Fm-Ch/Fós.Gab - 0007	Bivalvia	Heteroconchia	Pholadomya elliptica formis BERRY	3
Fm-Ch/Fós.Gab - 0008	Bivalvia	Paleotaxodontos	Tellina sp.	3
Fm-Ch/Fós.Gab - 0009	Bivalvia	Paleotaxodontos	Cucullaea brevis GERHARDT	2

Tabla N° 13: Data para el control Bioestratigráfico.

Luego de haber obtenido la base de datos en Excel; utilizando el programa Past crearemos simulaciones con ello y conjeturaremos los resultados obtenidos. Para ello el trabajo estadístico se inicia con un análisis de regresión calculando la Multivariante, esta función calcula una serie de estadísticas descriptivas básicas para una o más muestras de multivariado; en nuestro caso se tienen muestras de 2 Phylums y 4 clases cada una con sus respectivas especies cuantificadas y cualificadas. Este análisis sirve para explicar una determinada variable; digamos Y, en función de las variables X_1, X_2, \dots, X_k . Entonces tenemos un modelo en este caso lineal; esto es porque se tiene que la dependencia entre la variable Y, y la variable X adopta la forma de:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k + \text{error.}$$

El termino error aparece porque cada vez que observamos una X, no siempre observaremos la misma Y. Por ejemplo si X es la forma de un Bivalvo e Y en tamaño; cada vez que observemos una forma, no siempre obtendremos el mismo tamaño en Y.

Por tanto, luego en PAST, cada muestra debe tener al menos 3 valores contenidos en la data y ocupa una columna en la hoja de cálculo, tal y como se muestra en la Figura N° 59.

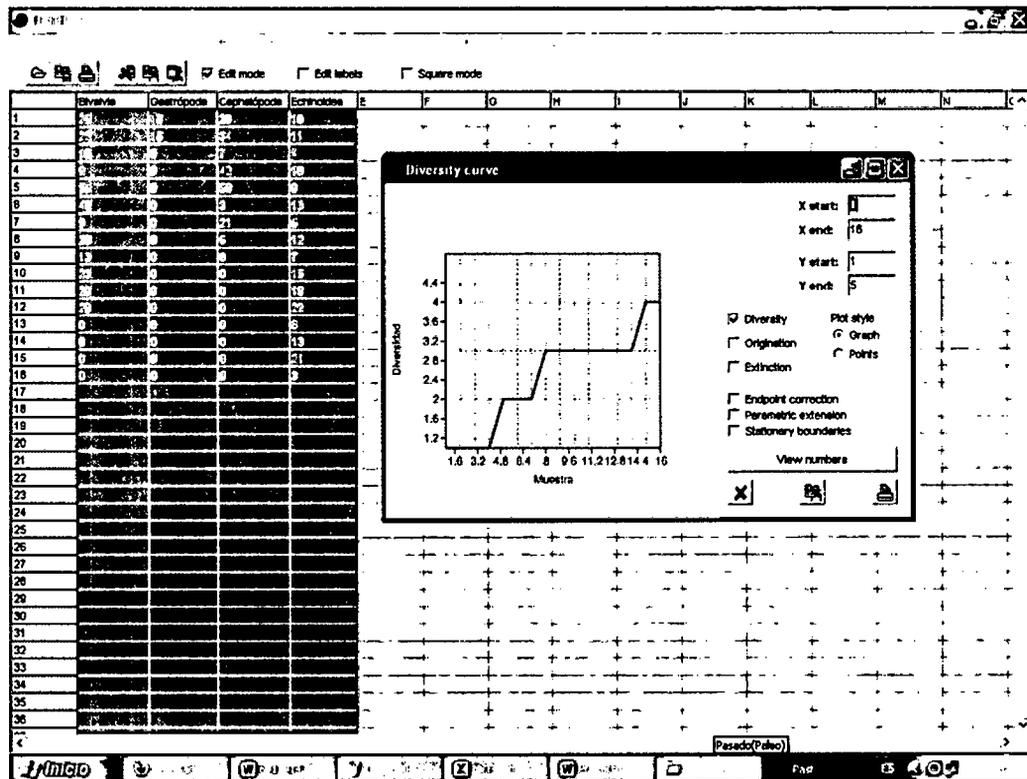


Figura N° 59: Curva de la Diversidad; nótese como a medida que la Población (conjunto total de todas las muestras) crece; la diversidad (conjunto de especies) va en gran aumento.

Una vez anexada la data al PAST; se genera la curva de diversidad, para ello se importa la data generada anteriormente al software; después se ordena en una hoja de cálculo Excel las muestras, desde la más baja en la parte inferior hasta la más alta en la parte superior; todo esto en filas, mientras que los taxones se adjuntan en columnas. Luego en PAST vamos al menú y en la opción Strat generamos la Curva de Diversidad (Figura N° 60). Se debe que tener en cuenta que esta herramienta de PAST permite el trazado de la Curva de Diversidad sobre la presencia de una columna estratigráfica, teniendo en cuenta el orden estratigráfico de las muestras.

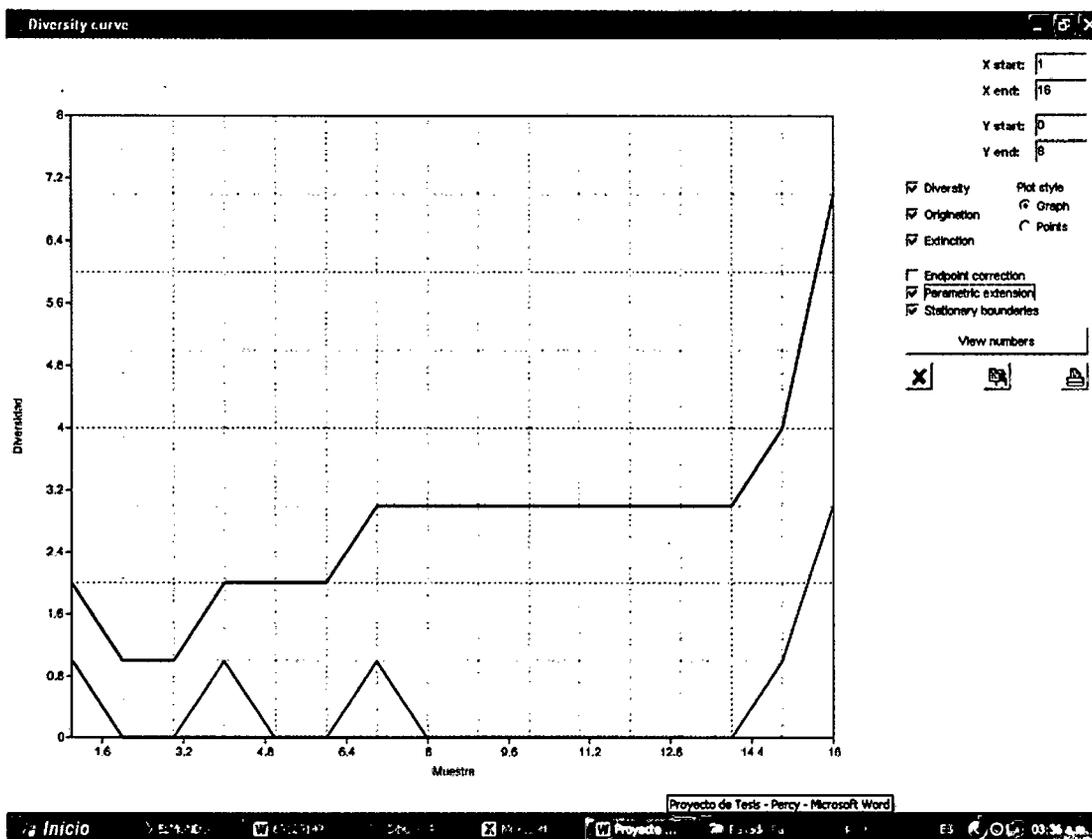


Figura N° 60:

Curva de la Diversidad; nótese la combinación entre los parámetros de: Biodiversidad en azul, Origen en verde y Extinción en rojo. Luego, mientras la Biodiversidad se expande a gran escala el origen de esta expansión va en congruencia con ésta; pero obsérvese que la línea de extinción decrece hasta llegar a valores despreciables, concluyendo por lo tanto que la tasa de mortalidad en las especies durante la Formación Chúlec era casi nula.

A esto se suma la creación de la curva de supervivencia; de tal forma que con estos dos parámetros del control bioestratigráfico desarrollado para las secuencias faunísticas en la dispersión estratigráfica de la Formación Chulec se validará lo antes mencionado en las características del Paleo Ambiente.

Entonces desarrollando la curva de supervivencia tenemos:

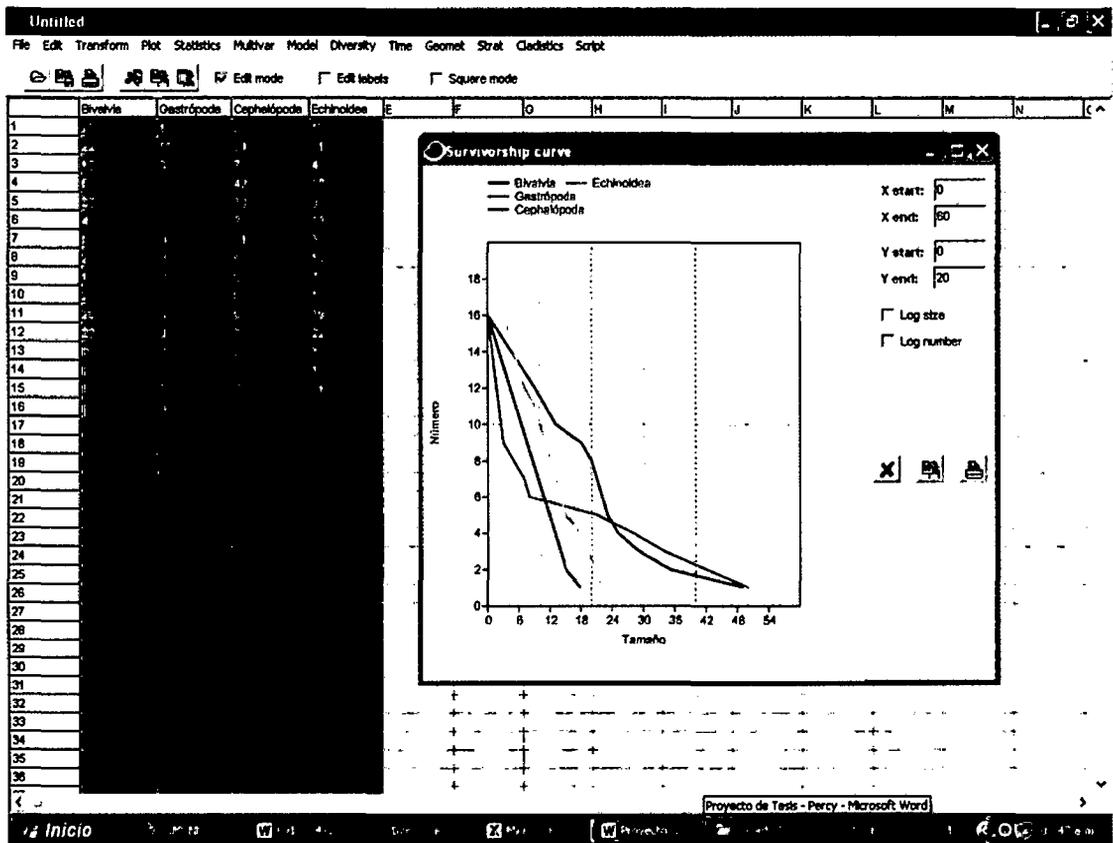


Figura N° 61: Curva de Supervivencia; nótese la combinación entre las diferentes clases: C. Bivalvia en rojo, C. Gastrópoda en azul, C. Cephalópoda en verde y la C. Echinoidea en amarillo. Se puede apreciar que a medida que el número de especies crece la población asegura su supervivencia.

9.3 CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE MARINO EN LA FORMACIÓN CHULEC

Con la ayuda proporcionada de los datos estadísticos obtenidos con respecto a la diversificación de las especies y al tipo de rocas analizadas en el estudio de las unidades litoestratigráficas podemos afirmar que:

“El Paleo ambiente presente en la formación Chúlec era un ambiente marino bien oxigenado (upwelling) y que con exactitud, este se desarrollaba en una zona contrastante, donde el agua cubría desde la costera o intermareal hasta posiblemente los límites de la plataforma continental (piso circalitoral); aunque es muy probable que los dominios del mar quizás hubiesen llegado hasta la zona bentónica ya que parte de la fauna presente en la Formación Chúlec, como los equinoideos están presente en las zonas de profundidades medias.

Por otro lado es de admitir que existía una considerable producción de carbonatos, permaneciendo la mayor parte de estos al lugar donde se precipitó; y esto es comprobable debido a la presencia de organismos como los pertenecientes a la clase Bivalvia ya que éstos no sólo secretan Carbonatos (CaCO_3), sino que también los utilizan para la construcción de sus conchas las cuales están compuestas por calcita u aragonito.”

9.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados que han sido obtenidos al realizar el estudio bioestratigráfico de la Formación Chulec, han sido beneficiosos ya que nos permiten dilucidar las variaciones sedimentológicas, litoestratigráficas y biológicas a las cuales estuvo sometida durante el tiempo de su formación. Las zonas transicionales entre las Formaciones Inca – Chulec quedan por tanto manifestadas en un espacio sensu stricto, el cual es corroborado por medio del estudio bioestratigráfico realizado en dichas zonas en los cuales se ha ido analizando el paleo hábitat de ciertos fósiles. Consecuentemente el desarrollo evolutivo de las especies en la Formación Chulec determina que el ambiente marino estuvo predispuesto a ciertas variaciones en la profundidad, no obstante, no se logra encontrar indicios de barreras naturales del tipo biológico; lo que nos hace suponer que el mar fue de medio abierto lo que daría explicación al porqué del gran desarrollo faunístico y a la variación sedimentológica en los carbonatos. Posteriormente el estudio realizado de la zona transicional entre la Formación Chulec y la Pariatambo quedaría revelado en la abundancia de especies marinas adecuadas para subsistir y desarrollarse en mares de mayor profundidad; lo que hace suponer, que el nivel eustático comenzaba a elevarse por aquel entonces. Cabe resaltar la importancia de realizar pruebas de radiocarbono en fósiles para evaluar las condiciones anóxicas o hipóxicas del mar en aquel entonces.

9.5 CONCLUSIONES

- ✓ La Bioestratigrafía presente en la Formación Chúlec es compleja por el hecho de ser ésta la que inicia la zona de apogeo tras la regresión del mar durante el Albiano medio (Cretáceo inferior).

- ✓ Las secuencias estratigráficas han sido de gran importancia puesto que gracias a su identificación se logró tipificar las unidades bioestratigráficas en Biozonas.

- ✓ La fuerte predominancia de la clase Bivalvia en singular de las especies *Tellina* sp. y *Neithea* sp. han servido como fósiles indicadores entre una zona de transición marina entre la zona bentónica (baja mar) y la zona nerítica propiamente dicha.

- ✓ La dispersión faunística registrada y catalogada será de una valiosa ayuda para futuras investigaciones dedicadas a la geología como ciencia; así como para posibles correlaciones a nivel nacional con otras Formaciones de edades relativas con la Formación Chúlec.

- ✓ Finalmente con este estudio bioestratigráfico se espera haber logrado desarrollar el estadio evolutivo propio de la Formación Chúlec ya que es ésta la que inicia la etapa marina durante el cretáceo y es allí donde ciertas especies como la de los ammonites logran desarrollar un máximo nivel de vida (tanto en dispersión geográfica como en tamaño).

9.6 RECOMENDACIONES

- ✓ Una de las mayores preocupaciones ha sido el observar a detalle como por ignorancia se viene destruyendo el patrimonio Paleontológico de la zona; y es de preocupación puesto que cada vez que se extrae un fósil del estrato por mas diminuto e insignificante que nos parezca, estamos extrayendo una valiosa información para futuros investigadores en ésta área como lo es la Bioestratigrafía.

- ✓ Así mismo se recomienda que para el manejo de la información estadística se tenga mucho cuidado puesto que una mala interpretación de los datos nos podría arrojar ciertas falsedades y por ende cometer un grave error en el trabajo de investigación que se esté realizando.

9.7 BIBLIOGRAFÍA.

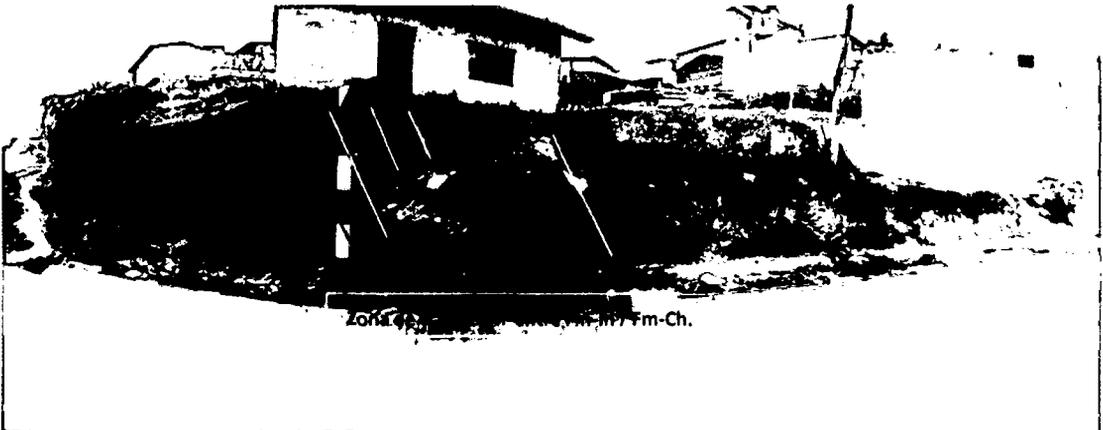
- REYES L. (1980). GEOLOGÍA DE LOS CUADRANGULOS DE CAJAMARCA, SAN MARCOS Y CAJABAMBA.
- BOL. SOC. GEOL. (1956). PERÚ GEOLOGÍA DE LA REGIÓN DE CAJAMARCA. LIMA-PERÚ. TOMO N° 12. FASC. 1, PP. 5-23.
- ROMERO LIDIA. (1995). FAUNA Y FLORA FÓSIL DEL PERÚ. BOLETÍN N°17, SERIE D.
- RANZI A. (2000). PALEOECOLOGÍA DE LA AMAZONIA PERUANA. SAO PAULO – BRAZIL.
- PATARROYO P. (2005). UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. PRINCIPIOS DE PALEONTOLOGÍA.
- HUAMÁN A. (2011). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LA TESIS PROFESIONAL.
- MONTERO T. (1997). GLOSARIO ESTRATIGRÁFICO. CENTRO DE INFORMACIÓN TÉCNICA PDVSA.
- DOMÈNECH R. & MARTINELL J. (1996). INTRODUCCIÓN A LOS FÓSILES.
- DÁVILA J. (2006). DICCIONARIO BILINGÜE GEOLÓGICO.
- VERA T. M (1994). ESTRATIGRAFÍA – PRINCIPIOS Y MÉTODOS.
- AUBOURIM. J. & BROUSSE J. & LEHMAN P. (1981). TRATADO DE GEOLOGÍA – PALEONTOLOGÍA – ESTRATIGRAFÍA. TOMO II.

- REV. INST. INVESTIG. FAC. MINAS METAL CIENC.
GEOGR V.8 N.15. LIMA ENE. /JUN. 2005.
- PETTIJOHN F.J. (1980). PETROLOGÍA SEDIMENTARIA. EDITORIAL
UNIVERSITARIA DE BUENOS AIRES. CUARTA EDICIÓN.

9.8 ANEXOS.

ANEXOS

ARCHIVO FOTOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

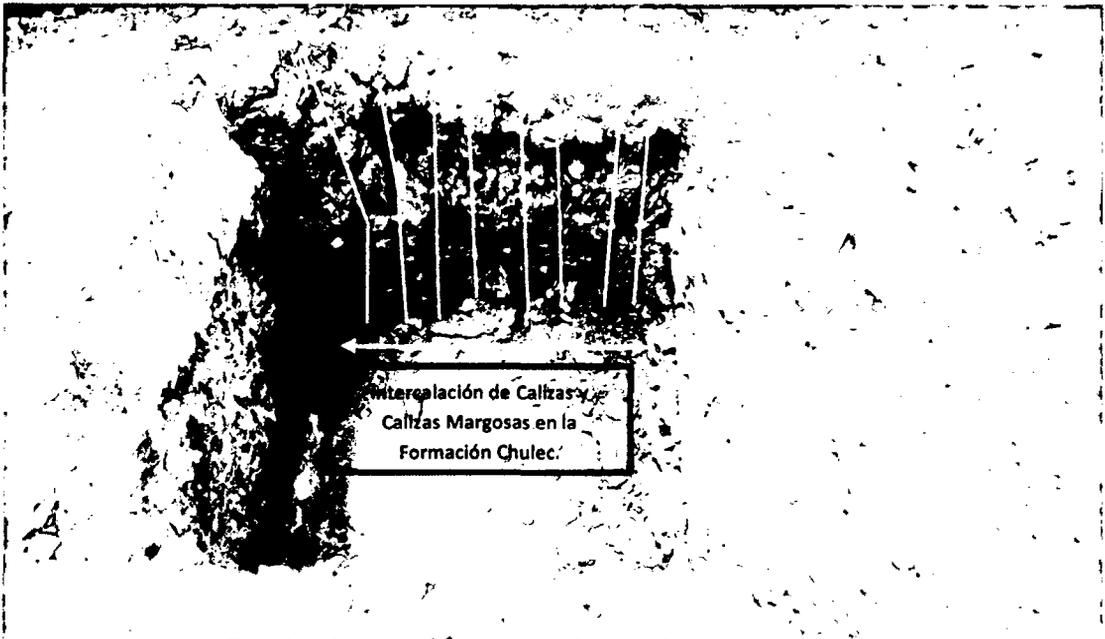


Zona transicional entre el techo de la Formación Inca y el piso de la Formación Chulec

Ubicación: Puyllucana – Cajamarca.

UTM: N: 9209031 E: 781976 Cota: 2829 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. COD-Foto: Fm-Ch/0001.



Calicata mostrando la intercalación de calizas en la parte izquierda y calizas margosas en la parte derecha.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9209058 E: 782026 Cota: 2871 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0002.

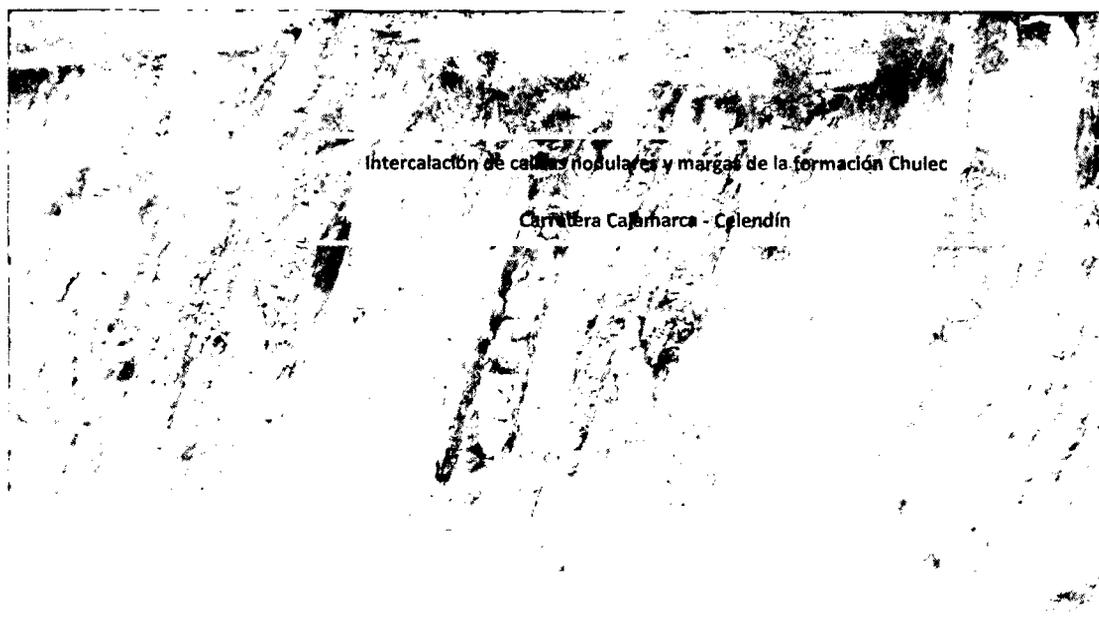


Biozona hallada carretera a Santa Úrsula y catalogada como Biozona de Conjunto.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9209098 E: 782054 Cota: 2876 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0003.

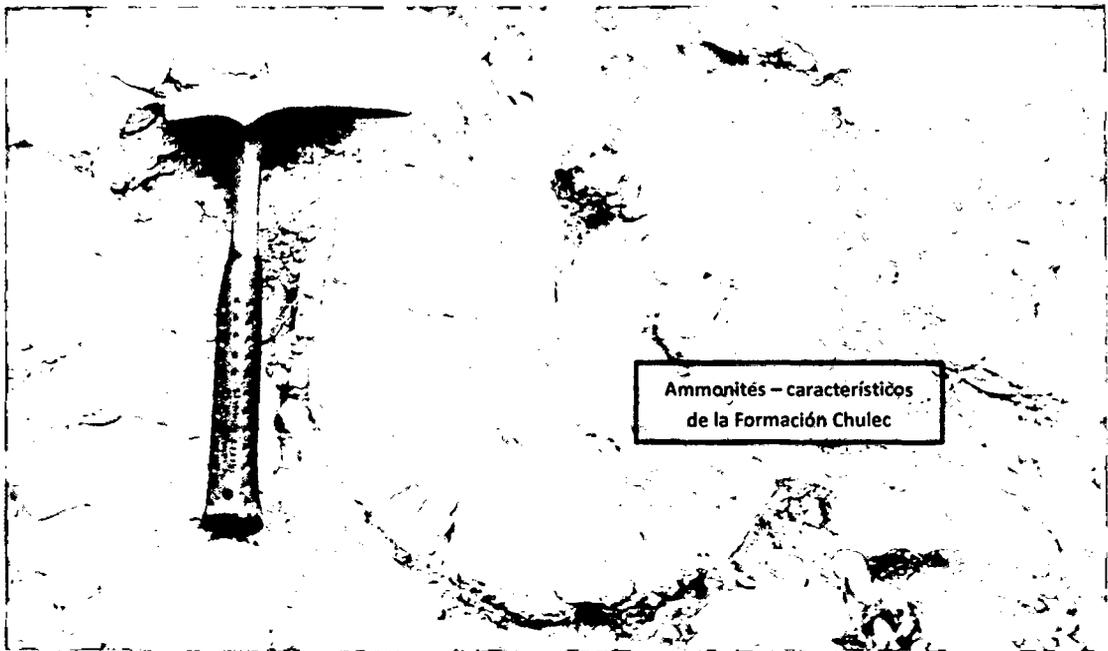


Biozona hallada carretera a Santa Úrsula y catalogada como Biozona de Intervalo.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208898 E: 782437 Cota: 2882 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0004.

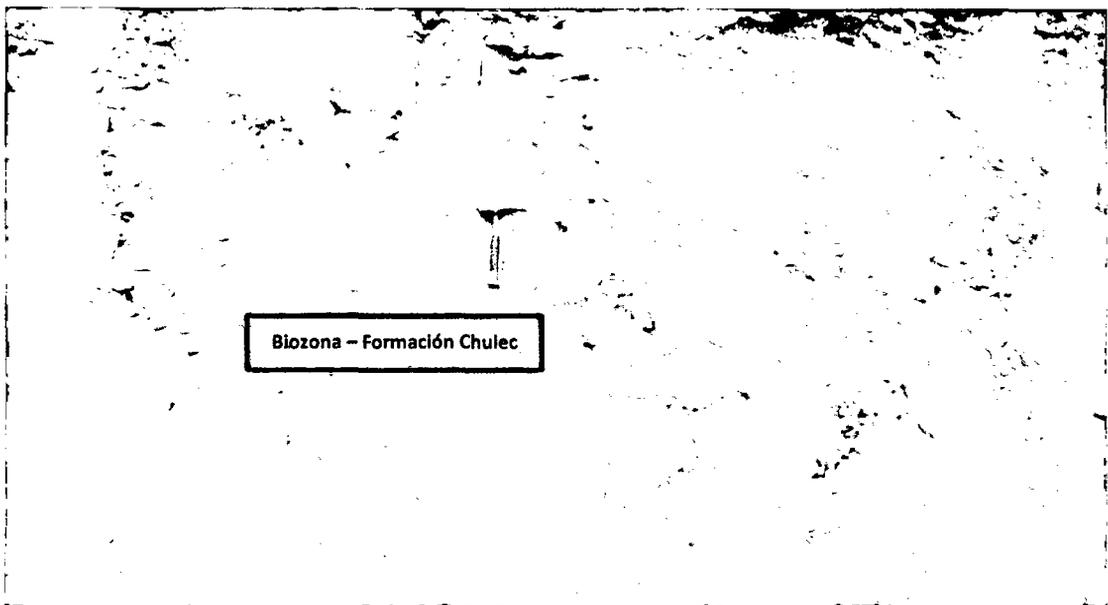


Biozona hallada en las cercanías a la quebrada Samanay y catalogada como Biozona de Conjunto.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208898 E: 782437 Cota: 2882 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0005.



Biozona hallada en las cercanías a la quebrada Samanay y catalogada como Biozona de Conjunto.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208898 E: 782437 Cota: 2882 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0006.

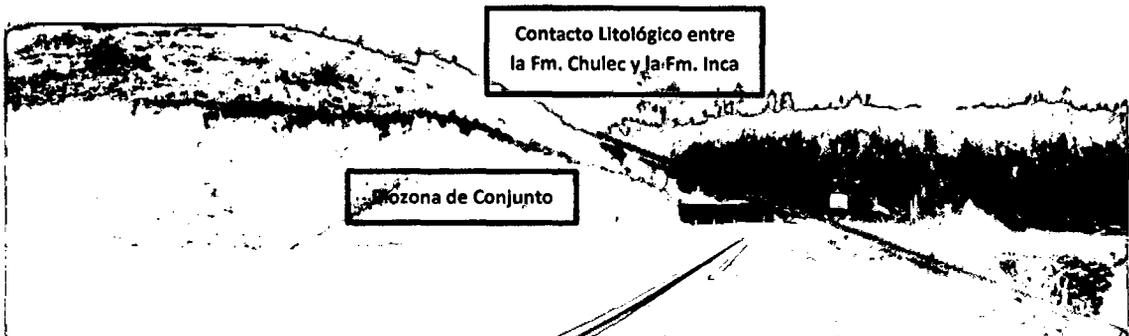


Biozona hallada en las cercanías a las quebradas Yerba Santa y el Tuco, catalogada como Biozona de Conjunto.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208512 E: 783430 Cota: 3021 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0007.



Contacto Litológico entre la Fm-Ch y la Fm-In. La parte Izquierda de la Fotografía denota una biozona de Intervalo catalogada.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208492 E: 783003 Cota: 3035 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0008.

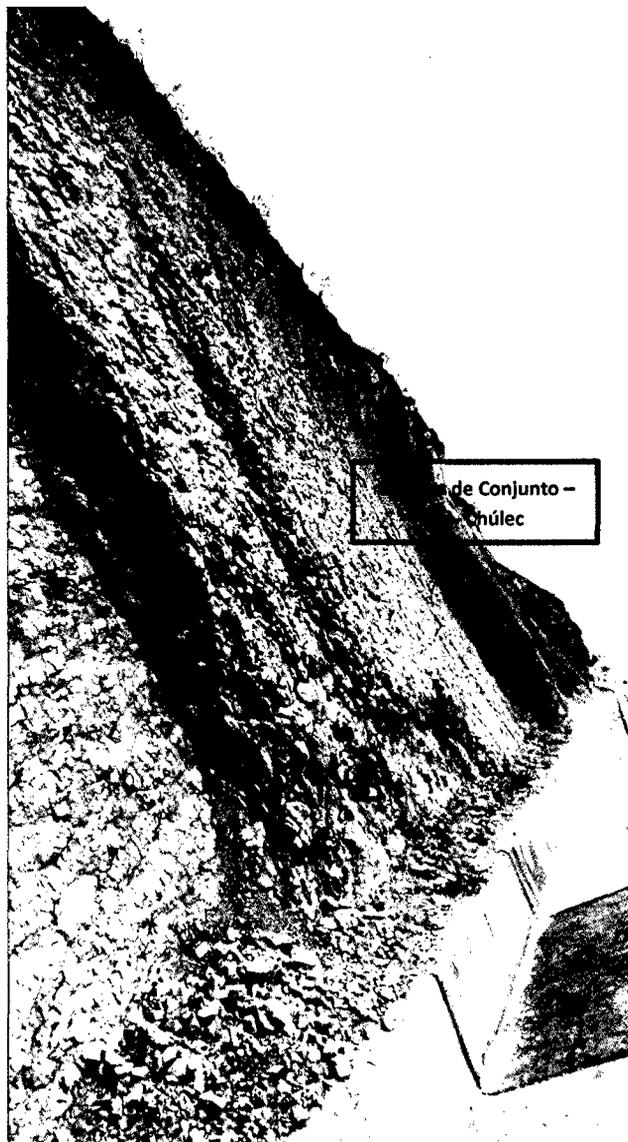


Biozona hallada en las cercanías a las quebradas Yerba Santa y el Tuco, catalogada como Biozona de Conjunto.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208512 E: 783430 Cota: 3021 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0009.

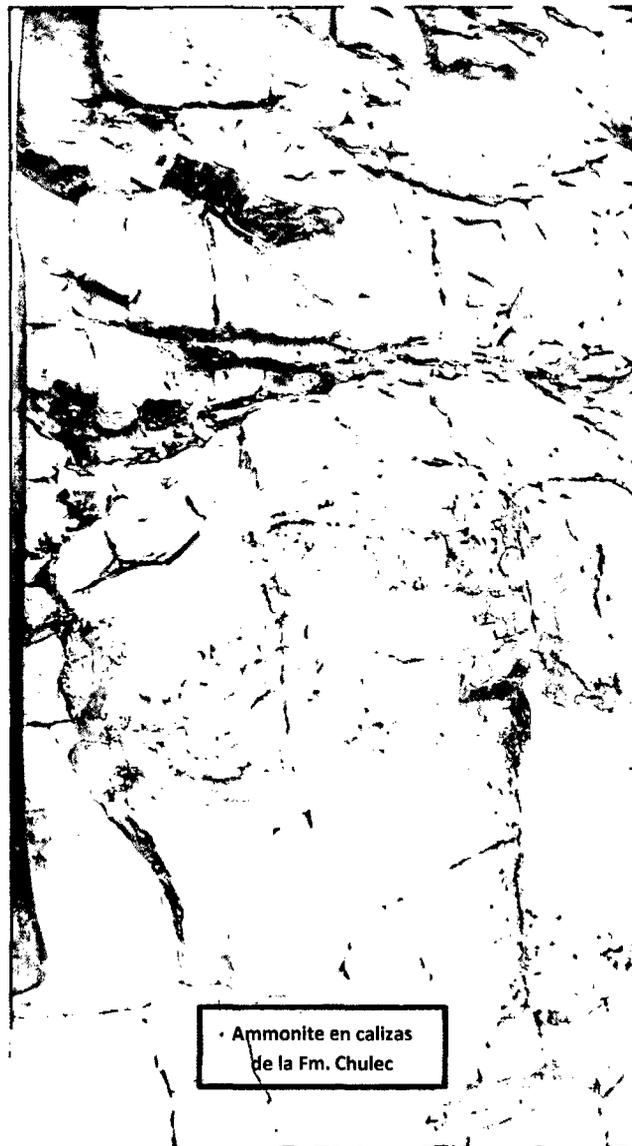


Biozona de conjunto hallada en la carretera Puyllucana – Santa Úrsula.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208332 E: 784240 Cota: 3051 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0010.

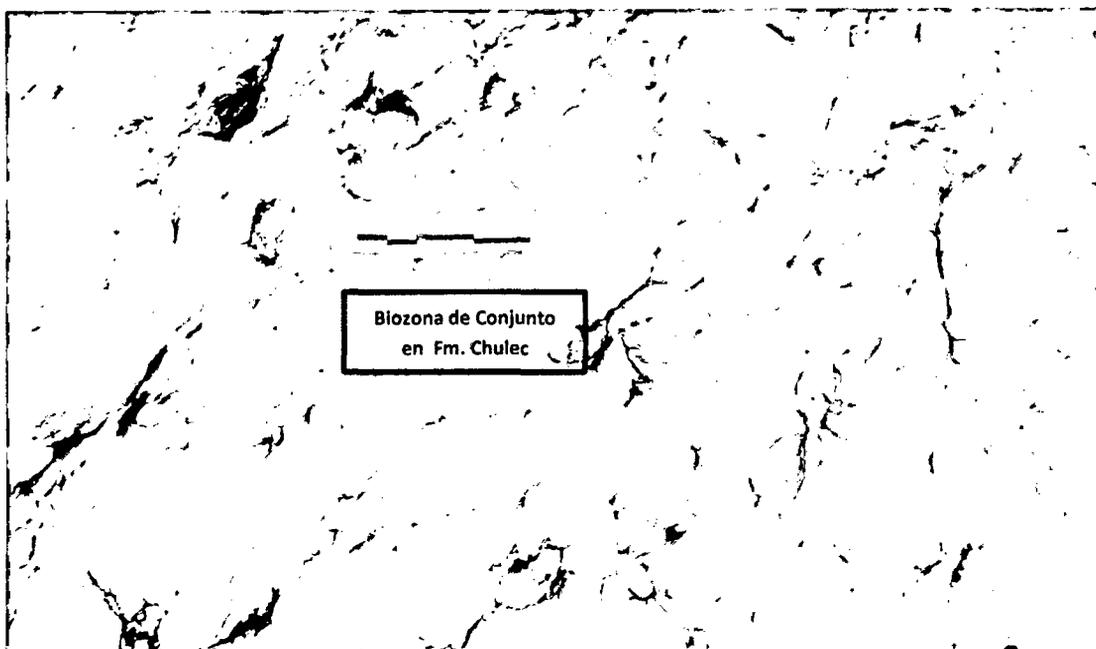


Biozona de conjunto hallada en la carretera Puyllucana – Santa Úrsula.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208307 E: 784662 Cota: 3064 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0011.

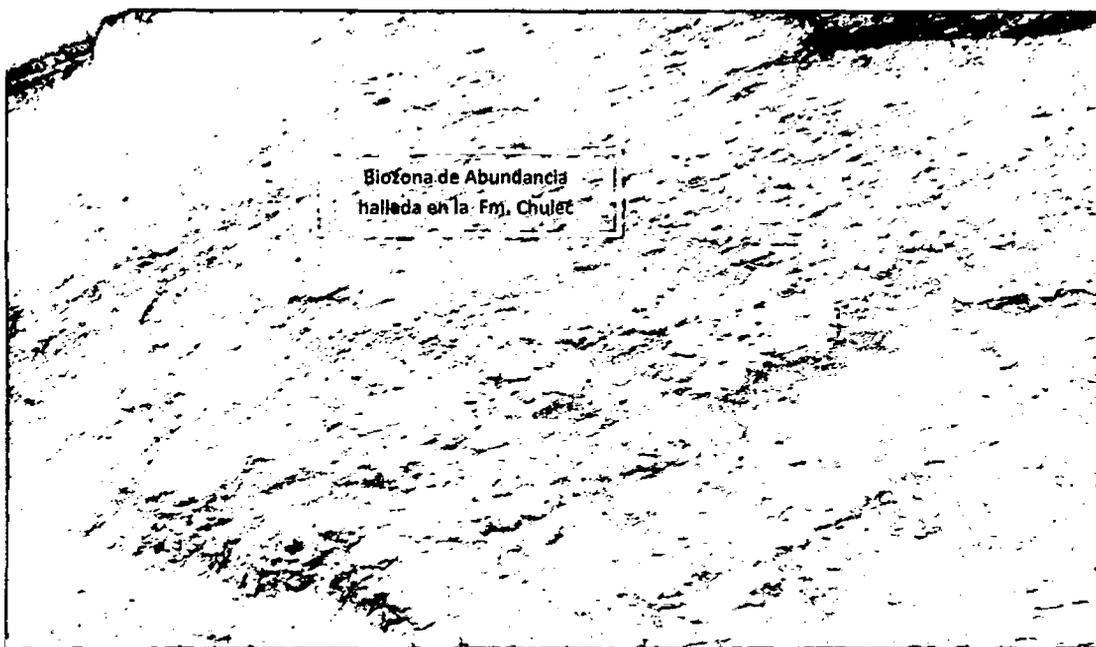


Biozona de conjunto hallada en la quebrada Puyllucana.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9207303 E: 781617 Cota: 2793 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0012.



Biozona de Abundancia hallada en la carretera Puyllucana – Santa Úrsula.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208295 E: 785001 Cota: 3054 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0013.

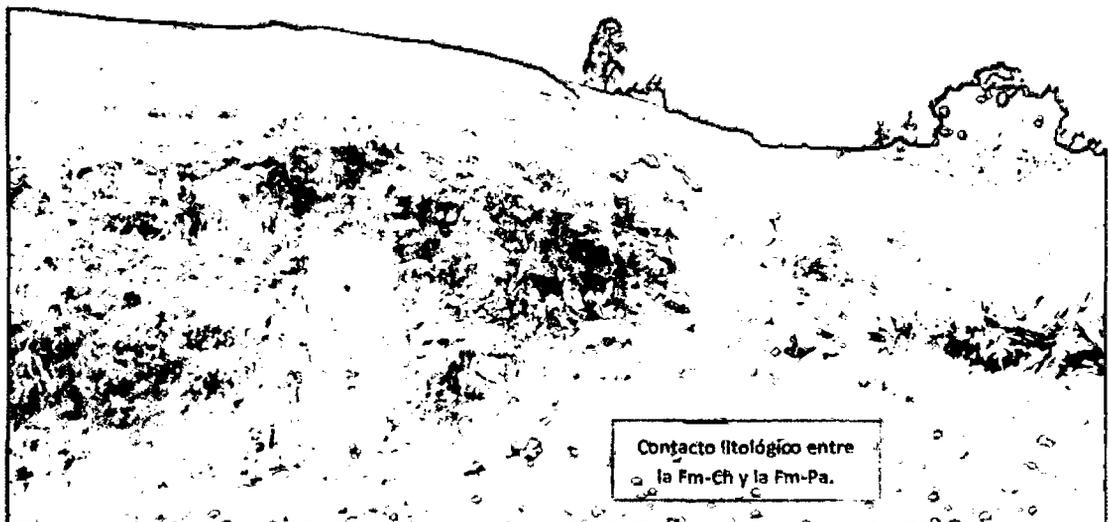


Geomorfología de la zona de estudio, carretera Puyllucana – Santa Úrsula.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208450 E: 785670 Cota: 3041 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0014.

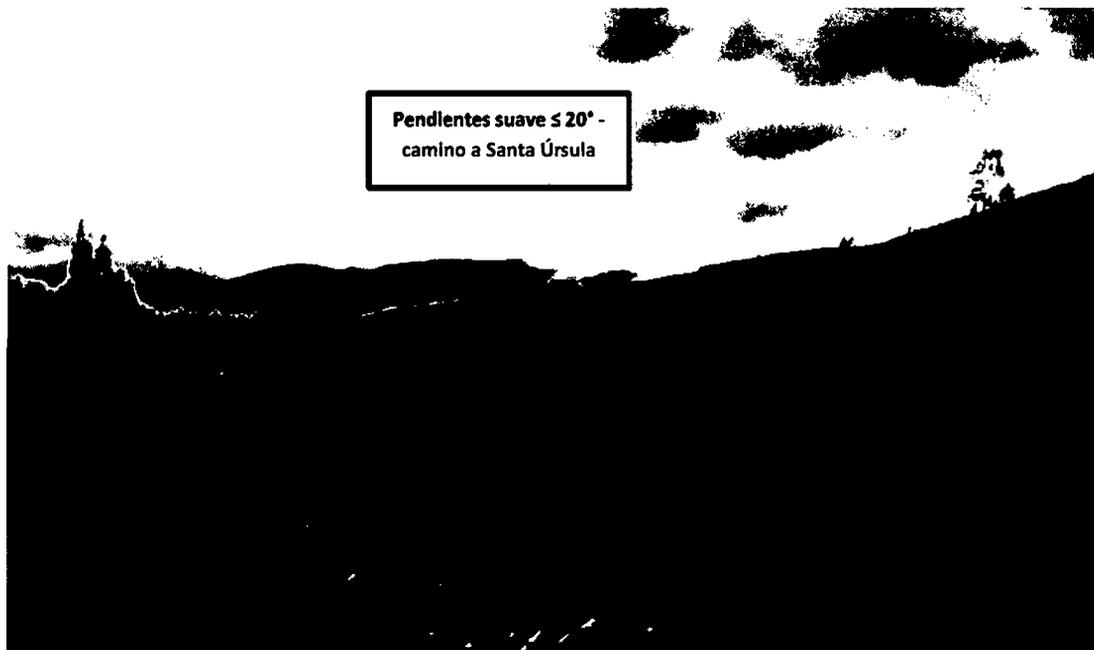


Zona transicional entre la Formación Chulec y el Piso de la Formación Pariatambo en las cercanías al centro poblado de Santa Úrsula – Cerro el Chorro.

Ubicación: Santa Úrsula.

UTM: N: 9208463 E: 787682 Cota: 3104 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0015.



Geomorfología de la zona de estudio, en las cercanías del centro poblado de Santa Úrsula.

Ubicación: Santa Úrsula.

UTM: N: 9207830 E: 787462 Cota: 3044 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0016.



Fisiografía de la zona de estudio, en las cercanías del centro poblado de Santa Úrsula.

Ubicación: Santa Úrsula.

UTM: N: 9207868 E: 787457 Cota: 3047 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0017.

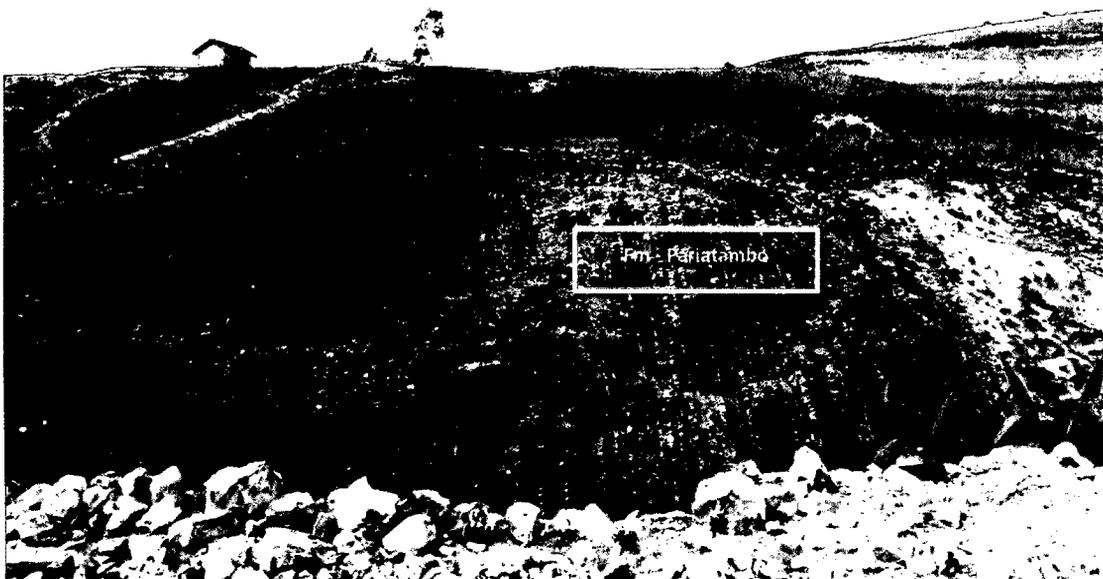


Contacto litológico entre las Formaciones Chulec y Pariatambo en donde se puede apreciar al centro la zona de transición. Foto tomada en las cercanías del centro poblado de Santa Úrsula.

Ubicación: Santa Úrsula.

UTM: N: 9207964 E: 787274 Cota: 3059 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0018.

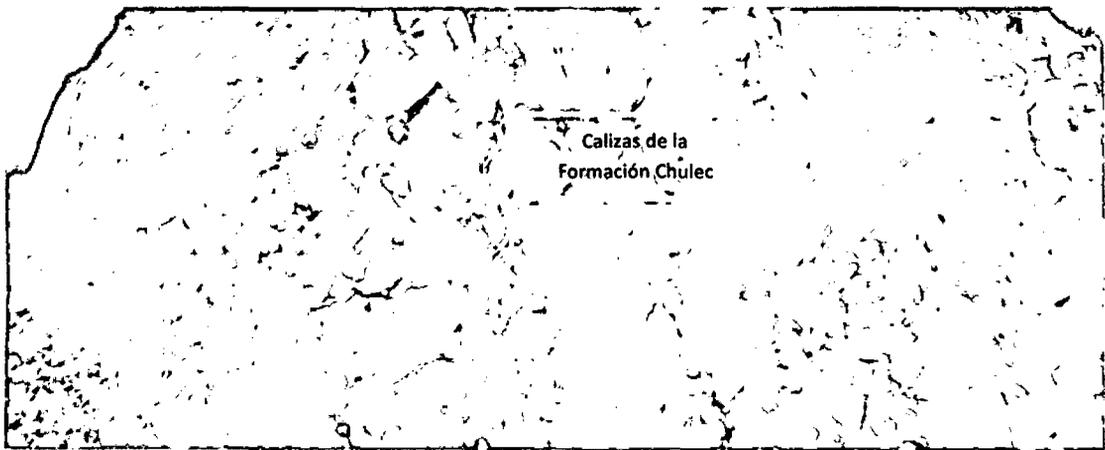


Calizas nodulares de la Formación Pariatambo.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9207964 E: 787275 Cota: 3062 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0019.



Calizas nodulares de la Formación Pariatambo.

Ubicación: Santa Úrsula.

UTM: N: 9207963 E: 787269 Cota: 3050 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0020.



Calizas de la Formación Chulec con textura Wackstone.

Ubicación: Santa Úrsula.

UTM: N: 9207963 E: 787269 Cota: 3049 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0021.

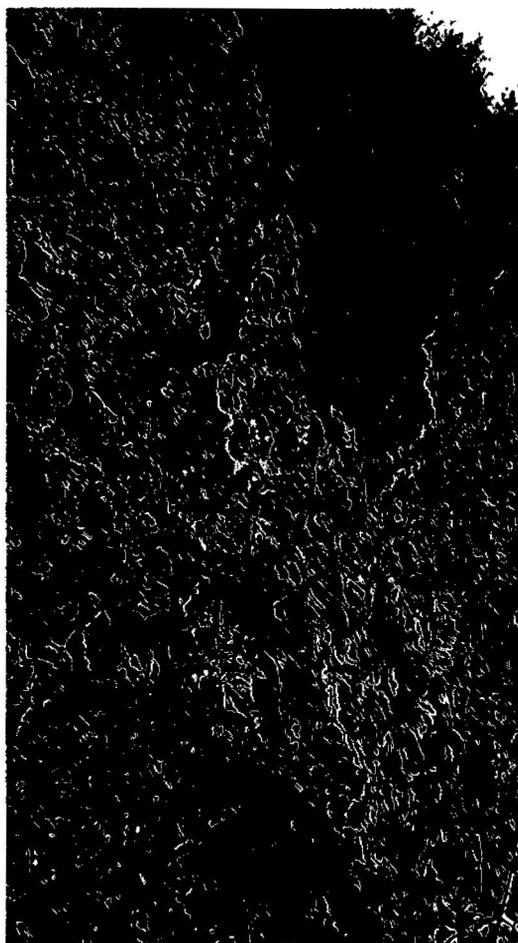


Fisiografía de la zona de estudio en Puylucana.

Ubicación: Puylucana.

UTM: N: 9209035 E: 781661 Cota: 2835 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0022.



Calizas Margosas de la Formación Chulec.

Ubicación: Puylucana.

UTM: N: 9209035 E: 781661 Cota: 2835 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0023.



Margas de la Formación Chulec.

Ubicación: Puyllucana.

UTM: N: 9208814 E: 782161 Cota: 2870 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0024.



Margas de la Formación Chulec.

Ubicación: Puyllucana.

UTM: N: 9208814 E: 782161 Cota: 2870 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0025.

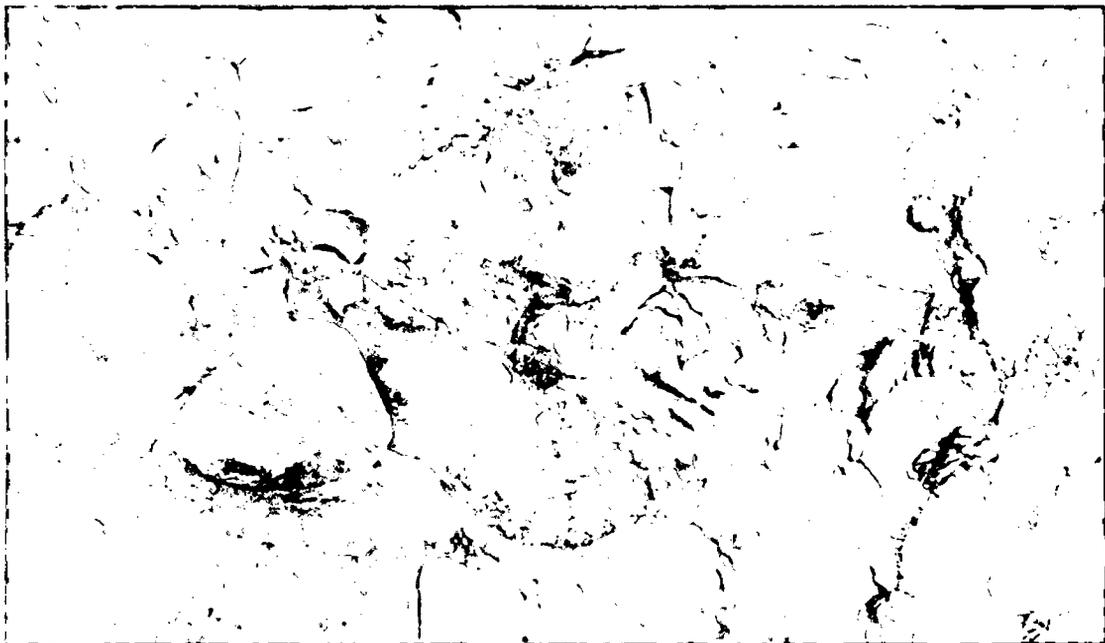


Biozona de Abundancia en Calizas Margosas de la Formación Chulec.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208412 E: 785268 Cota: 3062 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0026.

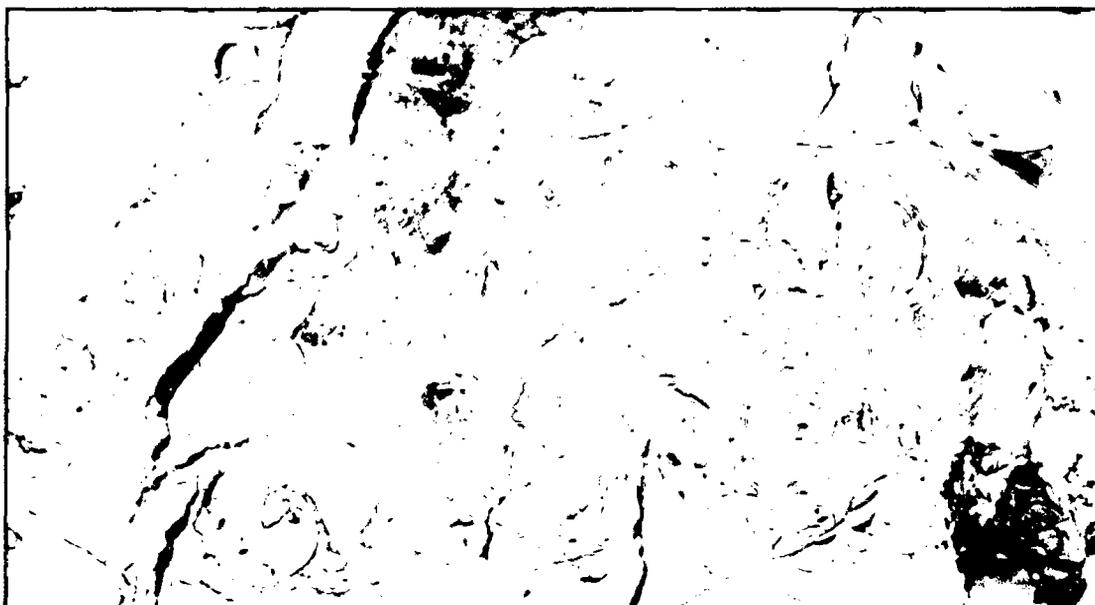


Biozona de Abundancia en Calizas Margosas de la Formación Chulec.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208412 E: 785268 Cota: 3062 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0027.



Caliza de textura Packstone, en donde se puede apreciar restos de animales en una matriz calcárea.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208303 E: 783861 Cota: 3047 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0028.



Caliza de textura Packstone con presencia de ooides presente en la Formación Chulec.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208303 E: 783861 Cota: 3047 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0029.



Margas con presencia de Bioturbaciones presentando una alternancia de delgadas capas de carbonatos Dolimitizadas en la Formación Chulec.

Ubicación: Puyllucana – Santa Úrsula.

UTM: N: 9208317 E: 783897 Cota: 3061 m.s.n.m

Fuente: Archivo Fotográfico Propio. Foto: Fm-Ch/0030.