

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**CARACTERIZACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y SEDIMENTOLÓGICA DEL
CRETÁCICO EN EL DISTRITO LA ENCAÑADA**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

Bach. Alexander Galvani Rodríguez Villanueva

Asesor:

Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

CAJAMARCA – PERÚ

-2022-

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica y a sus docentes, por todas sus enseñanzas y el apoyo brindado para empezar mi desarrollo profesional; en especial consideración al Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani por su guía, consejos para elaborar esta tesis.

DEDICATORIA

En memoria de mi padre Mauricio tus enseñanzas, consejos que dejaste me ayudarán siempre, sigue bendiciéndome desde el cielo, a mi viejita Rosa una gran mujer luchadora te quiero y amo por ti soy lo que soy ahora; a mis hermanas Marlene y Janeth son únicas gracias, mi sobrina Tattiana siempre estaré para ayudarte, Karla bello amor.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
CONTENIDO	iii
ABREVIATURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

CAPÍTULO I:INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO II:MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales	3
2.1.3. Antecedentes Locales.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. Estratigrafía	5
2.2.2. Sedimentología	5
2.2.3. Geometría de los estratos	5
2.2.4. Facies sedimentarias	6
2.2.5. Las estructuras sedimentarias	7
2.2.6. Rocas carbonatadas	9
2.2.7. Tipos de superficies de estratificación	10
2.2.8. Las asociaciones de estratos	11
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	11

CAPÍTULO III:MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	13
--	----

	Pág.
3.1.1. Política	13
3.1.2. Geográfica	13
3.1.3. Accesibilidad	13
3.1.4. Marco estratigráfico regional	15
3.2. PROCEDIMIENTOS	18
3.2.1. Metodología.....	19
3.2.2. Definición de variables	19
3.2.3. Técnicas.....	20
3.2.4. Instrumentos y equipos	20

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE DATOS.....	22
4.1.1. Geología estructural.....	22
4.1.2. Paleontología	24
4.1.3. Marco estratigráfico local.....	33
4.1.4. GRUPO CRISNEJAS	34
4.1.5. GRUPO PUYLLUCANA	50
4.2. INTERPRETACIÓN.....	56
4.2.1. Cretácico Inferior.....	56
4.2.2. Cretácico Superior	62
4.2.3. Paleontología	64
4.2.4. Paleoambiental.....	68
4.2.5. Depositación de sedimentos	71
4.2.6. Configuración tectónica y estratigráfica regional del Cretácico	73
4.2.7. Asociaciones faciales y entornos deposicionales (Cretácico Medio)	75
4.2.8. Modelos generadores de anoxia y cambio climático	78
4.2.9. Diques y sill (Interpretación con Respecto a Navarro et al,2015).....	81

	Pág.
4.3. Contratación de la hipótesis	85

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES	86
5.2. RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Geometría de los estratos. Tomado de (Vera, 1994).	6
Figura N° 2. Clasificación de las rocas carbonatadas. Dunham (1962) y Embry y Klován (1971).	10
Figura N° 3. Tipos de superficies de estratificación que se pueden reconocer en terreno (Vera, 1994).	10
Figura N° 4. Tipos de asociaciones de estratos basados en la distribución de espesores y en las litologías Presentes. Las letras a, b y c son litologías diferentes, con a como mayor granulometría y c de menor (Vera, 1994).	11
Figura N° 5. Accesibilidad a la zona de investigación delimitada por 4 vértices (Fuente: Google Earth Pro,2021).	14
Figura N° 6. Columna estratigráfica de la región Cajamarca. Fuente: INGEMMET modificado por (Herrera,2012).	17
Figura N° 7. Mapa geológico regional, mostrando la ubicación de los principales depósitos mineralizados y su relación al SFPC. (Fuente: Rivera,2011).	22
Figura N° 8. Clasificamos la muestra (Foto N°9), por su material y contenido de bioclastos como packstone por el ambiente de sedimentación (Descripción macroscópica) (Ver Figura N°25, pág.96).	35
Figura N° 9. Clasificamos la muestra (Foto N°12), por su material y escaso contenido fósil como mudstone (Descripción macroscópica).	39

	Pág.
Figura N° 10. Clasificamos la muestra (Foto N°17), por su material y contenido como mudstone (Descripción macroscópica).	45
Figura N° 11. . Clasificamos la muestra (Foto N°21), por su material y contenido de bioclastos en la matriz como packstone (Descripción macroscópica) (Ver Figura N°17, pág.70).....	51
Figura N° 12. Representación que muestra como la Formación Yumagual se depositó en un ambiente nerítico de marea baja (Fuente: Nasif y Nahle,2008).	54
Figura N° 13. Principales litofacies depositadas en ambientes someros siliciclásticos. Modificado de (Johnson, 1978 y Boersma, 1975) (Arche,2010).	56
Figura N° 14. Clasificación y criterios de reconocimiento de las facies arcillosas. Modificado de (Morris, 1977).	61
Figura N° 15. Impacto de los cambios climáticos en la fábrica de carbonato epicontinental –nerítico (Navarro,2015).	64
Figura N° 16. Fósiles en las calizas y su distribución espacial (Stein et al,2010).....	68
Figura N° 17. Características petrográficas de la roca primaria y su ambiente de formación en rocas carbonatadas (Ruíz,2015).	70
Figura N° 18. Representación esquemática morfo-estructural de las zonas de depósitos en una cuenca de antepaís (DeCelles & Giles, 1996).	72
Figura N° 19. Mapa paleogeográfico del Cretácico Medio del Perú (basado en Pindell y Tabbutt, 1995; Robert y Bulot, 2004). El pequeño cuadrado negro indica Cajamarca en la Plataforma Occidental. A-A ' indica la posición del transecto (Navarro et al,2015).....	74
Figura N° 20. Transposición hipotética a través de la Cuenca Andina durante los tiempos Neocomiano-Coniciario (basada en Benavides-Cáceres, 1956; Atherton y Webb, 1989; Jaillard, 1987) Morfología de la rampa de plataforma occidental. Consulte la posición aproximada del transecto en la Fig. 19 (A - A ') (Navarro et al,2015).....	74
Figura N° 21. Ambientes sedimentarios de las calizas de Cajamarca en el Cretácico Medio (Navarro et al,2015).	75
Figura N° 22. Modelo esquemático variedad de procesos geoquímicos característicos de las OAEs (eventos anóxicos oceánicos) (Jenkyns, 2009).....	79

	Pág.
Figura N° 23. Etapa más extrema de la OAEs (eventos anóxicos oceánicos) (Jenkyns, 2009).	80
Figura N° 24. Evolución sintetizada de la margen nor-peruana. 1: Intrusiones magmáticas; 2: Volcanismo submarino; 3: Volcanismo aéreo; 4: Sills y diques; 5: Margas marinas; 6: Calizas de plataforma; 7: Areniscas deltaicas; 8: Estructuras tectónicas sinsedimentarias (brechas, fallas, slumps.) (Jaillard,1990).....	81
Figura N° 25. Ambientes de sedimentación y depósito de calizas (Martinez et.al,2011).	96

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 1. Zona plegada por tectonismo en calizas intemperizadas de coloración parda amarillenta en la Fm. Chúlec, Coordenadas: N: 9216329, E: 794247, Cota: 3199 m.s.n.m.	23
Foto N° 2. Sinclinal en la Fm. Pariatambo, calizas grises bituminosas intercaladas con limolitas calcáreas. Coordenadas: N: 9216276, E: 793669, Cota: 3117 m.s.n.m.....	24
Foto N° 3. Fósil Exogyra se aprecia una vista frontal se observa una valva ornamentada hacia la tapa con sus líneas de crecimiento.	25
Foto N° 4. Dos fósiles de Turritella a la derecha en la parte central de la muestra de mano presente en la Fm. Pariatambo, y a la izquierda imagen de referencia comparando fósiles de turritelas.	26
Foto N° 5. Fósil de Nicaisolopha Nicaisei A) Vista de la valva superior, B) Vista de la valva inferior.....	28
Foto N° 6. Bivalvo ubicado hacia el miembro superior Fm.Pariatambo en las calizas mucho más claras.....	30
Foto N° 7. A) Cara lateral con la carena deteriorada del ammonite dentro de nódulos esferoidales. B) Cara frontal Oxytropidoceras (Oxytropidoceras) cf. O. (O.) carbunarium (GABB).....	31

Foto N° 8. Impresión fósil negativa Oxytropidoceras en la Fm.Pariatambo en calizas negras a grises del flanco izquierdo del anticlinal ubicado en el distrito La Encañada. .	33
Foto N° 9. Calizas packstone con textura grano-soportada y con matriz micrítica. El espacio intergranular está ocupado por micrita, se observa gran cantidad de restos fósiles.	35
Foto N° 10. Estructuras de carga por asentamiento diferencial y laminaciones paralelas presentes en calizas mudstone de la Fm. Chúlec, de coloración parda. Coordenadas: N: 9216533, E: 793971.	37
Foto N° 11. Calizas nodulares estratificadas onduladamente en condiciones de mediana-alta energía color pardas por intemperismo intercaladas con limolitas calcáreas. Coordenadas: N: 9216208, E: 793575.	38
Foto N° 12. Calizas grises de mediano espesor y presencia de estructuras de carga.	38
Foto N° 13. A. Calcita rellenando la zona de falla y B. Estructuras de carga que deforman las calizas conjuntamente con las limolitas calcáreas.	40
Foto N° 14. Venillas de calcita rellenando las calizas de la Fm.Pariatambo.	40
Foto N° 15. Concreción de calizas en la Fm. Pariatambo, intercalada con limolitas color pardo amarillento producto del intemperismo Coordenadas: N: 9216254, E: 793636; Cota: 3118 m.s.n.m.	41
Foto N° 16. Una capa de limolitas calcáreas, en la cual se tiene calizas nodulares, calizas tipo mudstone por su ambiente de sedimentación (Ver en Anexos Figura N°25, pág.96).....	44
Foto N° 17. Muestra de mano una caliza mudstone, con mínima cantidad de fósiles los cuales macroscópicamente no se diferencian a simple vista, desarrollada en ambiente de poco oxígeno.	45
Foto N° 18. Perfil esquemático en la Fm. Pariatambo flanco derecho del anticlinal ubicado en distrito La Encañada.	47
Foto N° 19. Megarizaduras de fondo, estratos de limolitas muy fisibles.	48
Foto N° 20. Calizas masivas grises bastante fosilíferas (bioclastos fragmentados) con espesor de hasta 6m intercalados con pequeños lentes de limolitas.	50
Foto N° 21. Calizas grises con bioclastos de fósiles poco reconocibles macroscópicamente, depositados en un ambiente de mucha energía ubicado en el distrito La Encañada.....	51

	Pág.
Foto N° 22. Calizas wackestones pardas, grises con poco bioclastos (líneas rojas) de fósiles no muy diferenciables macroscópicamente, depositados en un ambiente de mediana energía (Ver Figura N°17, pág.70).....	52
Foto N° 23. Calizas packstone masivas de la Formación Yumagual intercaladas con limolitas calcáreas.....	53
Foto N° 24. Calizas tipo mudstone color beige por intemperismo característicos de la Formación Chúlec en estratos potentes.....	58
Foto N° 25. Calizas oscuras en Formación Pariatambo intercaladas con limolitas calcáreas de olor fétido a reacción HCL y golpe de picota, en estratificación paralela.	60
Foto N° 26. Estratos masivos de calizas pardas por intemperismo en la Formación Pariatambo sector NW de La Encañada intercalada con limolitas negras. Coordenadas: N: 9219571; E: 796345; cota: 3449 m.s.n.m.....	62
Foto N° 27. Cara frontal del oxytropidoceras presente en la columna levantada del flanco izquierdo del anticlinal de la Formación Pariatambo (muestra no muy bien conservada) (Ver representado en Columna N°1, pág.43).	66
Foto N° 28. Gasterópodos en lentes de limolitas calcáreas de la Formación Yumagual.	67
Foto N° 29. Plesiechinus ornatus en niveles de limolitas de la Formación Yumagual, 2.5cm diámetro, con aspecto nebuloso y punteado. Coordenadas: N: 9219508; E: 795275; cota: 3416 m.s.n.m.	67
Foto N° 30. Imagen de la derecha sill composición andesítica presente al margen de la carretera del distrito La Encañada-Celendín intruyendo la Fm.Chulec, Imagen de la izquierda nódulos de diorita.	83
Foto N° 31. Sill paralelo a las limolitas negras, calizas azuladas y calizas pardas de gran espesor en la Formación Pariatambo sector noreste del distrito La Encañada. Coordenadas: N: 9219566; E: 796142; cota: 3446 m.s.n.m.....	84
Foto N° 32 .Intercalación de limolitas calcáreas con capas de calizas en la Fm.Chúlec, onduladas por compactación diferencial.	97
Foto N° 33. Calizas en estratos de mediano espesor presentes en Fm.Yumagual.	97
Foto N° 34. Capas de limolitas presentes en la Fm. Yumagual fisibles, aproximadamente de 0.85m de espesor.	97
Foto N° 35. Calizas pardas y grises, poca notoriedad de bioclastos macroscópicamente en la Fm.Yumagual.	97

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA N° 1. Vértices con sus respectivas coordenadas (ver PLANO N°2).	13
TABLA N° 2. Definición de variables en la investigación.	20
TABLA N° 3. Visión general de la clasificación e interpretación de la facies. Los números indican la abundancia relativa de componentes no esqueléticos y esqueléticos: 0 = ausente, 1 = presente, 2 = frecuente, 3 = abundante, 4 = dominante (Navarro et al,2015).	76

ÍNDICE DE PLANOS

Plano N° 1. Mapa de la ubicación política del distrito La Encañada.	93
Plano N° 2. Mapa satelital del distrito La Encañada.	94
Plano N° 3. Mapa ubicación –columnas estratigráficas levantadas en el distrito La Encañada.	95

ÍNDICE DE COLUMNAS

Columna N° 1. Columna levantada de la Fm.Pariatambo, del flanco izquierdo del anticlinal del distrito La Encañada.	43
Columna N° 2. Columna estratigráfica del flanco derecho del anticlinal distrito La Encañada, Formaciones Chúlec-Pariatambo.	49
Columna N° 3. Columna estratigráfica de la Formación Yumagual.	55

ABREVIATURAS

PMPR: Posición media pesada relativa

SFPC: Sistema de falla regionales Punre Canchis

CC: Cuerpos concrecionarios

CAEs: Eventos anóxicos oceánicos

NO: Noroeste

FeO: Óxido ferroso

Fms: Formaciones

UTM: Universal Transverse Mercator

WGS-84: World Geodetic System 84

OAES: Eventos anóxicos oceánicos

RESUMEN

La presente investigación detalla un estudio estratigráfico y sedimentológico en el distrito La Encañada con el objetivo de caracterizar la Estratigrafía y Sedimentología, teniendo una metodología compuesta por tres etapas; la primera una revisión de antecedentes, la segunda una etapa de recopilación de datos en campo y posteriormente un procesamiento de datos. Al oeste la Formación Chúlec de estratos paralelos, calizas arenosas masivas (periodos regresivos en la cuenca) conforme avanzamos con el perfil se intercalan con limolitas grises de estratos delgados, en el miembro medio calizas packstone de menor espesor con pocos niveles de limolitas. Margas conforme siguen gradando los estratos están intercaladas con calizas de espesor moderado. Desarrollados en mar abierto permitiendo la acumulación de material calcáreo (fósiles marinos) que aportaron por períodos de edad Albiano inferior gran cantidad de limolitas calcáreas, en pequeños lentes de toda la columna elaborada. Al oeste la Formación Pariatambo compuesta de calizas y limolitas negras bituminosas origen paleoambiental oxínico deficiente restringido, con asociación estratigráfica rítmica, estructuras laminaciones onduladas pseudo nódulos en limolitas grises; al noreste la Formación Pariatambo sugiere un ambiente de depositación en aguas más abiertas permitiendo la oxigenación de las aguas; calizas poco bituminosas de 4 a 7m de espesor con intercalación de limolitas negras de 1 a 3m de espesor. Sobreyace la Formación Yumagual presenta calizas packstone masivas hacia la base con limolitas calcáreas y grada al techo calizas packstone masivas grises, cambio a nivel paleoambiental la base presenta gasterópodos y bivalvos que se adaptaron a rangos de salinidad muy amplios en la cuenca (niveles más profundos), grada a un nivel de salinidad marina normal con presencia de equinodermos evidenciándose niveles de depositación más someros a nivel continental en el techo no presenta niveles fosilíferos.

Palabras Claves: Estratigrafía, sedimentología, facies, estructura sedimentaria, columna estratigráfica.

ABSTRACT

This research details a stratigraphic and sedimentological study in the district La Encañada with the aim of characterizing stratigraphy and sedimentology, having a methodology composed of three stages; the first a background check, the second a stage of field data collection and then a data processing. To the west the Chúlec Formation of parallel strata, massive sandy limestones (regressive periods in the basin) as we advance with the profile are interspersed with gray limolitas of thin strata, in the middle member packstone limestones of lower thickness with few lutite levels. As margas continue to graduate the strata are interspersed with limestones of moderate thickness. Developed in the open sea allowing the accumulation of calcareous material (marine fossils) that contributed for periods of age Lower Albian large amount of limestone limolitas, in small lenses of the entire elaborate spine. To the west the Pariatambo Formation composed of limestone and bituminous black limolitas with restricted deep oxyenvironmental paleoenvironmental origin, with rhythmic stratigraphic association, pseudo-nodulated laminations structures in gray limolitas; to the northeast the Pariatambo Formation suggests a deposit environment in more open waters allowing oxygenation of the waters; bituminous limestones 4 to 7 m thick with intercalation of black limolitas 1 to 3 m thick. Overstretches the Yumagual Formation presents massive packstone limestones towards the base with limestone limolitas and bleacher to the roof massive gray packstone, change at the paleoenvironmental level the base presents gasteropods and bivalves that adapted to very salinity ranges (deeper levels), bleachers at a normal marine salinity level with the presence of echinoderms showing shallower deposit levels at the continental level in the roof does not present fossil levels.

Key Words: Stratigraphy, sedimentology, facies, sedimentary structure, stratigraphic column.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

La interpretación de las condiciones que condujeron a la formación de la roca, a través de su litología, bioestratigrafía, facies, tiempo geológico y las relaciones que tienen todos ellos, debe ser y es de hecho una referencia fundamental en el comportamiento litoestratigráfico. La caracterizan estructuras, texturas, registro fósil formados por agentes y procesos que dieron origen al ambiente de formación que se desarrollaron; dando origen las diferentes Formaciones litoestratigráficas del Cretácico en el distrito La Encañada.

Fijar un orden específico de la intercalación de los diferentes estratos en un tiempo y espacio geológico determinado en el distrito La Encañada para después integrar la columna estratigráfica local compuesta de columnas estratigráficas correlacionadas.

La caracterización estratigráfica y sedimentológica, basada en la correlación, análisis de facies, identificación de estratos, estructuras, tipo de ambiente de depositación y condiciones en las unidades litoestratigráficas; así como los eventos geológicos del distrito La Encañada, están relacionados en el tiempo y espacio geológico.

La presente investigación pretende aportar al conocimiento en Estratigrafía y Sedimentología, siendo la finalidad realizar un estudio de las características estratigráficas y sedimentológicas en el distrito La Encañada, para poder brindar datos e información actual mediante el análisis y descripción de las secuencias litobioestratigráficas que afloran e interpretación de las columnas, estratigrafía, registro fósil, unidades cronoestratigráficas y las facies del ambiente de formación de las unidades estratigráficas. El alcance de la investigación es brindar una base de datos actualizada para futuras investigaciones en el ámbito de la Estratigrafía y Sedimentología.

La caracterización estratigráfica y sedimentológica, análisis de facies, estratos, textura, el tipo de ambiente de depositación y condiciones litobioestratigráficas en las unidades formacionales en el distrito La Encañada; evidencian diferentes eventos geológicos, que están relacionados en el tiempo y espacio geológico.

La investigación está localizada al noreste de la ciudad de Cajamarca aproximadamente a 33km. La investigación será realizada (julio a diciembre del 2019). El objetivo general del proyecto es la caracterización estratigráfica y sedimentológica del Cretácico en el distrito La Encañada y se tiene los siguientes objetivos específicos.

Elaborar columnas litoestratigráficas.

Determinar las características lito-bioestratigráficas.

Identificar las estructuras y texturas sedimentológicas.

Determinar los paleoambientes de formación.

El contenido de los capítulos consta de V Capítulos, en el Capítulo II se mencionan algunos antecedentes internacionales, nacionales y locales que aportan a la investigación. Como también bases teóricas y definición de términos básicos, en el Capítulo III se especifica ubicación de la investigación, accesibilidad, marco estratigráfico regional; los procedimientos dentro de ello metodología, definición de variables, técnicas, instrumentos y equipos utilizados, ficha para la elaboración de columnas estratigráficas, en el Capítulo IV se analiza y discute los datos obtenidos en el marco estratigráfico local, así como su interpretación tanto en paleontología, paleoambiental, depositación de sedimentos, configuración tectónica y estratigráfica, asociaciones faciales y entornos deposicionales, modelos generadores de anoxia y cambio climático, diques y sills, por último la contrastación de la hipótesis, en el Capítulo V las conclusiones y recomendaciones, referencias bibliográficas, anexos.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Bilmes, (2013). Caracterización Estratigráfica, Sedimentológica y Estructural del Sistema de Bajos Neógenos de Gastre, Provincias de Río Negro y del Chubut. La cuenca de Gastre constituye, a más de 500 km al este de la trinchera, localizada en el centro-norte de Chubut y centro-sur de la Provincia de Río Negro. La adquisición de datos se realizó mediante mapeo geológico y estructural, levantamiento de perfiles estratigráficos y sedimentológicos, adquisición de imágenes de pozo, mapeo geomorfológico, análisis de dataciones radiométricas preexistentes y nuevos estudios de superficies cuaternarias. Las relaciones entre la tectónica y la sedimentación, apoyadas con nuevos datos bioestratigráficos y geocronológicos, indican que la estructuración principal habría tenido lugar en un lapso relativamente breve durante el Mioceno Medio, previamente a los $14,86 \pm 0.13$ Ma, sin reactivaciones posteriores.

Pardo et. al. (2002). Estratigrafía de Algunos Depósitos del Cretácico Superior en las Cordilleras Central y Occidental de Colombia: Implicaciones Regionales. Un estudio estratigráfico de las rocas Cretácicas que afloran en el sector de Nogales-Monteloro (Cordillera Central de Colombia) ha permitido la identificación de tres segmentos sedimentarios: el primero compuesto por conglomerados arenosos, arenitas, arenitas calcáreas y shales con abundantes restos de plantas, ammonites, y bivalvos; el segundo conformado por shales, lodolitas calcáreas, lodolitas silíceas, tobas y arenitas con estructuras de deslizamiento; el tercero compuesto por intercalaciones de lodolitas y arenitas con ammonites y restos de plantas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Torres, (2011). Estratigrafía, Sedimentología y Tectónica de la Cuenca Condoroma (Mioceno), Arequipa - sur del Perú. El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia de Cailloma, al noreste del departamento de Arequipa; particularmente en las

localidades de Chichas y Huilacucho, en la represa Condoroma. Morfológicamente se localiza en el borde sur central de la Cordillera Occidental, donde se ha emplazado la cuenca Condoroma. El substrato de la cuenca Condoroma presenta rocas que pertenecen al Grupo Tacaza (Oligoceno) y al dominio tectónico-paleogeográfico del Alto Estructural Condoroma-Cailloma (Carlotto et al, 2002; Velarde et al, 2004), representadas por las formaciones mesozoicas Hualhuani, Arcurquina y Murco.

León et. al. (2008). Estratigrafía, Sedimentología y Evolución Tectónica de la Cuenca Pisco Oriental. Las rocas Mesozoicas del área estudiada tienen edades que van del Jurásico Medio hasta el Cretácico Tardío. La base se inicia con rocas volcanoclásticas del Bajociano a Titoniano que documentan la presencia del arco insular Jurásico. El cambio abrupto de la procedencia de sedimentos derivados del arco volcánico (Formación Guaneros) a fuentes de sedimentos ricos en cuarzo, ha sido contemporáneo con el levantamiento de los bloques metamórficos (extensión ensiálica) y con el hundimiento del arco Jurásico a inicios del Cretácico.

2.1.3. Antecedentes Locales

Lagos y Quispe, (2012). Caracterización Litológica y Paleontológica del Cretácico Inferior en Cajamarca: las Formaciones Santa y Carhuáz. En este estudio se analizan tanto los fósiles y las rocas que pertenecen a las Formaciones Santa y Carhuáz hallados en las localidades de San Marcos y Cajamarca. Estos análisis han permitido determinar su edad y las condiciones de depositación. La determinación de la posición media pesada relativa (PMPR) de las areniscas de la Formación Carhuaz determinó su caracterización depositacional regional. La Formación Santa constituida por una alternancia de arcillitas gris oscuras y limolitas calcáreas de carácter marino- transgresivo, descansa en concordancia sobre las areniscas litoral- playero- continental de la Formación Chimú. De acuerdo con ésta unidad muestra regionalmente un cambio de facies notables, mientras que en el norte del país la proporción de calizas es mayor, en Cajamarca es más lutácea. En las localidades de Namora y Matara ubicados en el Cuadrángulo de San Marcos, se identificaron Gasterópodos, que según son (*Cassiope neumayri* (NAGAO); *paraglauconia strombiformis* (SCHLOTHEIM); *Corbícula sp.* Que indican una edad Valanginiano medio - Hauteriviano y un ambiente marino somero de aguas salobres muy cercano a la costa.

Mejía, (2014). Estudio Sedimentológico y Estratigráfico del Caserío de Puyllucana-Otuzco-Cajamarca-2012. Las características geológicas y ambientales de sedimentación,

dándose énfasis a las Formaciones que se encuentran ubicados en la zona de estudio las que son desde el Grupo Goyllarisquizga, la Secuencia Transgresiva y Grupo Crisnejas, Grupo Puyllucana, Grupo Quilquiñan y Formación Mujarrum , la Formación Cajamarca, presenta la secuencia calcarías del Cretácico Superior que más destaca topográficamente por su homogeneidad litológica y ocurrencia en bancos potentes y masivas, que exhiben una topografía kárstica con fuertes pendientes y finalizando la secuencia marina aflora la Formación Celendín que cierra el Sistema Cretácico se caracteriza por ser excepcionalmente fosilífera de cefalópodos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Estratigrafía

La estratigrafía permite la reconstrucción de los eventos geológicos, y por tanto, la historia geológica de nuestro planeta. Gracias a ella, es posible establecer relaciones de tiempo y continuidad, y como hemos mencionado, correlacionar depósitos en lugares geográficamente distantes. (Barragán et al. 2010).

2.2.2. Sedimentología

Es el estudio de los procesos de formación, transporte y depósito del material que se acumula como sedimento en los ambientes marinos y continentales, el cual después de largo tiempo forma rocas sedimentarias (Nichols, 2009).

2.2.3. Geometría de los estratos

Si se observa cada estrato en forma individual se puede establecer una clasificación de tipos geométricos a partir de la geometría o forma del techo y del muro o base.

Tabular: Superficies de estratificación planas y paralelas entre sí.

Irregular: Estratos de relativa extensión lateral con muro irregular y erosivo y techo plano, con lo que el espesor varía.

Acanalada: Poca extensión lateral y espesor variable, geometría interna similar a la de la sección de un canal.

En cuña: Los límites son superficies planas no paralelas entre sí, que terminan lateralmente por pérdida de espesor.

Lenticular: Cuerpos discontinuos.

Ondulada: Con muro plano, estructuras de ripples de corriente o de ola.

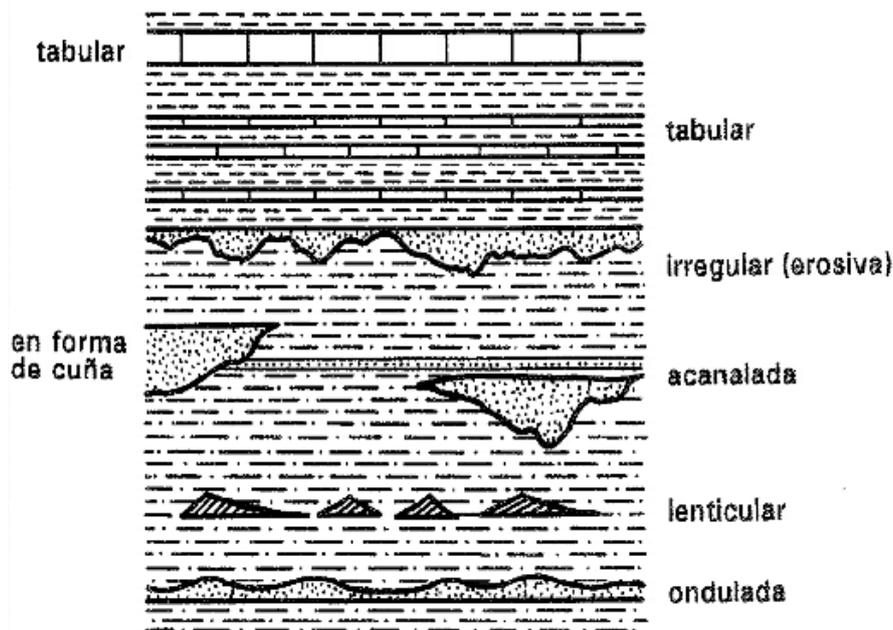


Figura N° 1. Geometría de los estratos. Tomado de (Vera, 1994).

2.2.4. Facies sedimentarias

Según Vera, 1994. El concepto de facies en Estratigrafía y en Sedimentología se utilizó para denominar a la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica, o sea, para definir el aspecto de cada grupo de rocas.

En algunos casos el termino facies se ha usado con una sola acepción doctrinal (acepción abstracta), la que corresponde a un conjunto de propiedades (por tanto, carente de dimensiones) que caracterizan a unos materiales estratificados, o sea, con el mismo sentido con el que fue utilizado originariamente. En otros casos, cada vez más frecuentes, se utiliza para denominar a un volumen de materiales caracterizados por unas propiedades y, por tanto, que si tiene dimensiones (acepción concreta).

Sea cual sea la acepción utilizada, la definición de facies debe ser totalmente objetiva y debe basarse en los datos obtenidos en el campo al observar las rocas, es necesario combinar los datos geométricos (espesor y forma de los estratos) y los relativos a las propias rocas (litología, textura, estructuras sedimentarias, fósiles, color) Destacando aquellos que sean más representantes de su génesis. El reconocimiento de las facies constituye la herramienta básica del estudio estratigráfico y sedimentológico y la fuente de información en la que se puede basar cualquier tipo de interpretación posterior (Vera, 1994).

Para distinguir los tipos de facies, según el tipo de propiedades se usan términos restrictivos del tipo propiedades (litofacies y biofacies) o de la escala de observación (microfacies) (Vera, 1994).

2.2.4.1. Litofacies, biofacies y microfacies

El término litofacies se usa para aludir exclusivamente a los aspectos litológicos (no los paleontológicos) de un conjunto de estratos y correlativamente para las condiciones físico químicas (no biológicas) que reinaron durante el depósito. Así, por ejemplo, se puede hablar de una litofacie de calizas oolíticas, o de areniscas glauconíticas (Vera, 1994).

El término biofacies es el complemento ya que se refiere a los aspectos paleontológicos (no los litológicos) y a las condiciones biológicas reinantes durante la depositación. Ejemplos de biofacies pueden ser facies de gasterópodos, etc. Obviamente la suma de la litofacies y la biofacies de unos materiales es simplemente la facies de los mismos (Vera, 1994).

El término microfacies es un término introducido desde el mundo de la Geología del Petróleo para denominar al conjunto de características litológicas y paleontológicas observables al microscopio en lámina delgada y correlativamente, a las condiciones genéticas que controlaron su depósito (Vera, 1994).

2.2.5. Las estructuras sedimentarias

Tras el establecimiento de las secuencias de deposicionales, el análisis sedimentológico debe volver al estudio detallado de las estructuras sedimentarias para realizar las interpretaciones paleoambientales más detalladas, es decir hay que volver a las fuentes en un proceso de ajuste de las observaciones constante.

Las estructuras sedimentarias, a diferencia de los fósiles o la litología, siempre se forman in situ y no pueden ser transportadas ni reelaboradas; también son el elemento clave en la comparación de sedimentos antiguos con medios sedimentarios actuales y estudiados experimentales bajo condiciones controladas.

Las estructuras sedimentarias pueden dividirse en tres categorías: pre-, sin- y postsedimentarias.

2.2.5.1. Estructuras presedimentarias

Las estructuras presedimentarias se forman en el basamento antes de que se depositen los sedimentos. Por tanto, son siempre erosivas, y no deben confundirse con procesos post-

depósito que deforman la base de la capa, como los moldes de carga (load-casts). Entre otras son los canales, marcas de escurridura (scour marks) y turboglifos (flute marks). Suelen observarse mucho mejor los moldes en la capa superior que las estructuras en sí mismas y dan buenas indicaciones sobre la dirección y/o el sentido de las corrientes que las originaron.

También se pueden considerar incluidas en este grupo las superficies marinas de omisión (hardgrounds) o las superficies subaéreas con grietas de desecación y/o brechas autogénicas.

2.2.5.2. Estructuras sinsedimentarias

Las estructuras sin-sedimentarias son de tres tipos fundamentales: estratificación planar, estratificación cruzada, con sus variedades de surco y planar, y microlaminación de ripples. Cuando un sedimento granular se ve sometido a una corriente de velocidad ascendente, desarrolla configuraciones externas que se reflejan en una estructura interna con una secuencia regular: ripples o capas planas, dunas, capas planas de alta energía y antidunas.

Hay que destacar que la aparición o desaparición de cada tipo no está ligada a una velocidad única, sino que depende de la granulometría del sedimento y de la profundidad del agua. En un sedimento fino, se alcanzará la configuración de capas planas de alta energía, cuando para la misma velocidad de corriente otro más grueso conservará aún la configuración de dunas. Por tanto, toda interpretación hidrodinámica de estructuras no es válida si no tiene en cuenta el tamaño de grano del sedimento en que se encuentra.

Estas estructuras dan información sobre la velocidad de la corriente que originó, pero poca sobre el medio en que se formaron.

La interpretación hidrodinámica de las formas de fondo se ve complicada si se tiene en cuenta que casi todos los estudios realizados suponen un equilibrio entre un flujo estable y dichas formas, pero los flujos naturales rara vez son estables y pueden variar mucho en períodos variables, por ejemplo, cada seis horas las mareas, en pocos minutos o en meses en los ríos durante avenidas o durante los estiajes.

2.2.5.3. Estructuras postsedimentarias

Se pueden dividir en dos grupos:

- a) Las que significan una organización en la vertical de la estratificación, como los moldes de carga (load casts) y pseudonódulos, formados cuando capas de arenas se hundan en capas arcillosas inferiores por diferencias de densidad y carga y las diversas estructuras de fluidificación, producidas por movimientos de fluidos en el interior de sedimentos no consolidados por carga diferencial o un efecto tixotrópico causado por sacudidas bruscas debidas a terremotos u otras vibraciones.
- b) Las que significan una reorganización horizontal de la estratificación, como los pliegues recumbentes y fallas precontemporáneas causadas por un deslizamiento a favor de la paleopendiente.

Ninguno de los dos grupos tiene significado ambiental.

Debe destacarse que ningún tipo de estructura sedimentaria es exclusivo de un medio, por lo que deben emplearse en conjunto con otros criterios en la interpretación sedimentológica (Arche, 2010).

2.2.6. Rocas carbonatadas

Clasificación de Dunham (1962): Distingue dos tipos generales de carbonatos (rocas y sedimentos carbonatados) (1) los que presentan textura deposicional reconocible, y (2) los que presentan textura cristalina, no siendo posible reconocer la textura deposicional.

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. Esta clasificación es de fácil utilización en el terreno, tienen connotaciones en cuanto a indicación de energía en medio sedimentario; grainstone: sedimentos muy lavados, mudstone: sedimentos propios de aguas no agitadas.

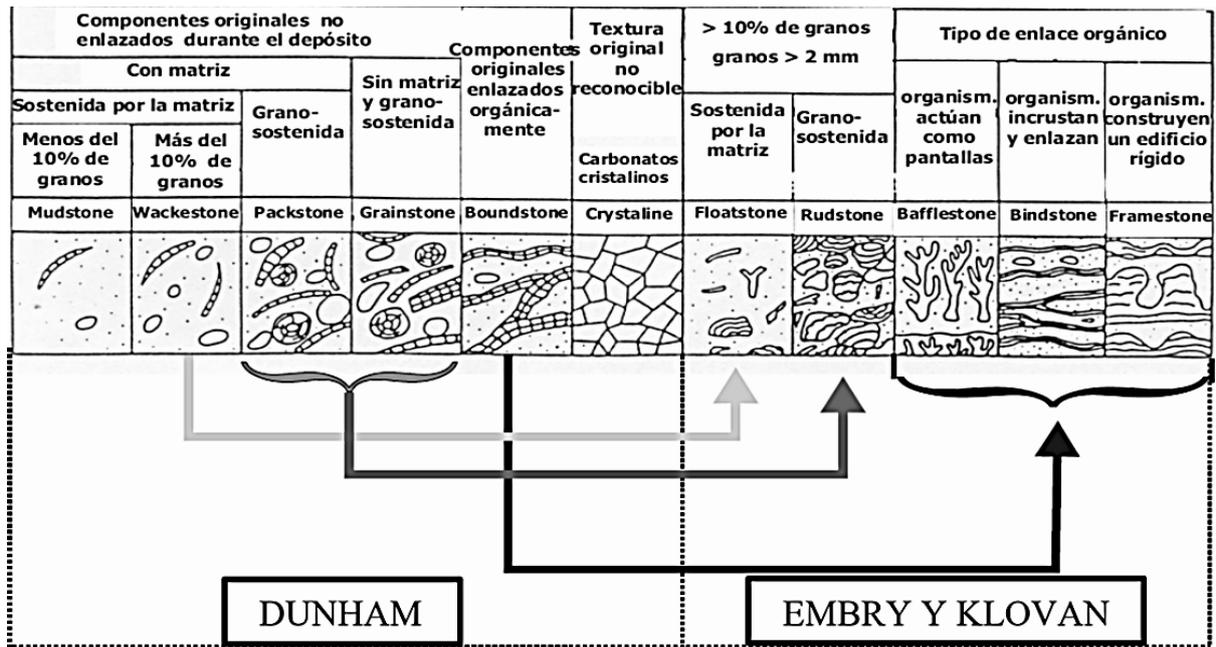


Figura N° 2. Clasificación de las rocas carbonatadas. Dunham (1962) y Embry y Klovan (1971).

2.2.7. Tipos de superficies de estratificación

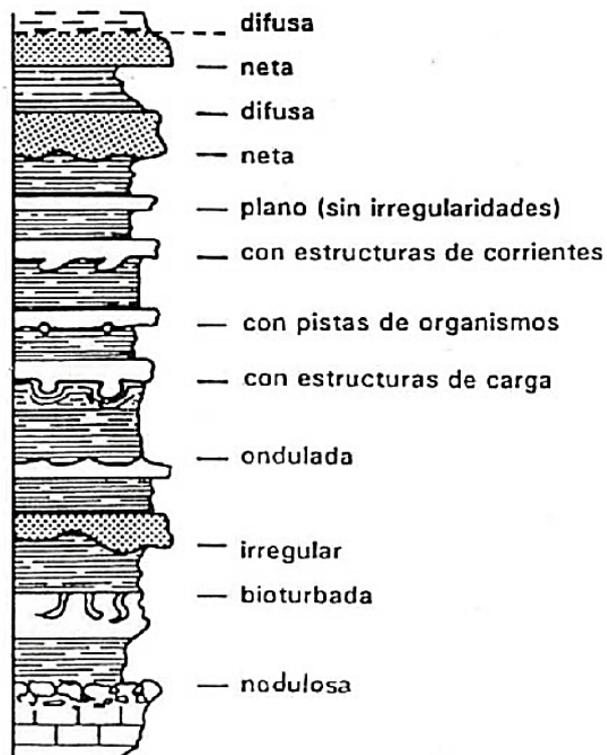


Figura N° 3. Tipos de superficies de estratificación que se pueden reconocer en terreno (Vera, 1994).

2.2.8. Las asociaciones de estratos

Las asociaciones de estratos o conjuntos de estratos superpuestos basadas en criterios descriptivos son: En terreno se deben analizar los estratos en su conjunto, de esta forma se clasifica al conjunto con criterio descriptivo. Primero hay que observar el orden de los espesores de los estratos individuales dentro del conjunto de estrato sucesivo; segundo, los tipos litológicos y su distribución.

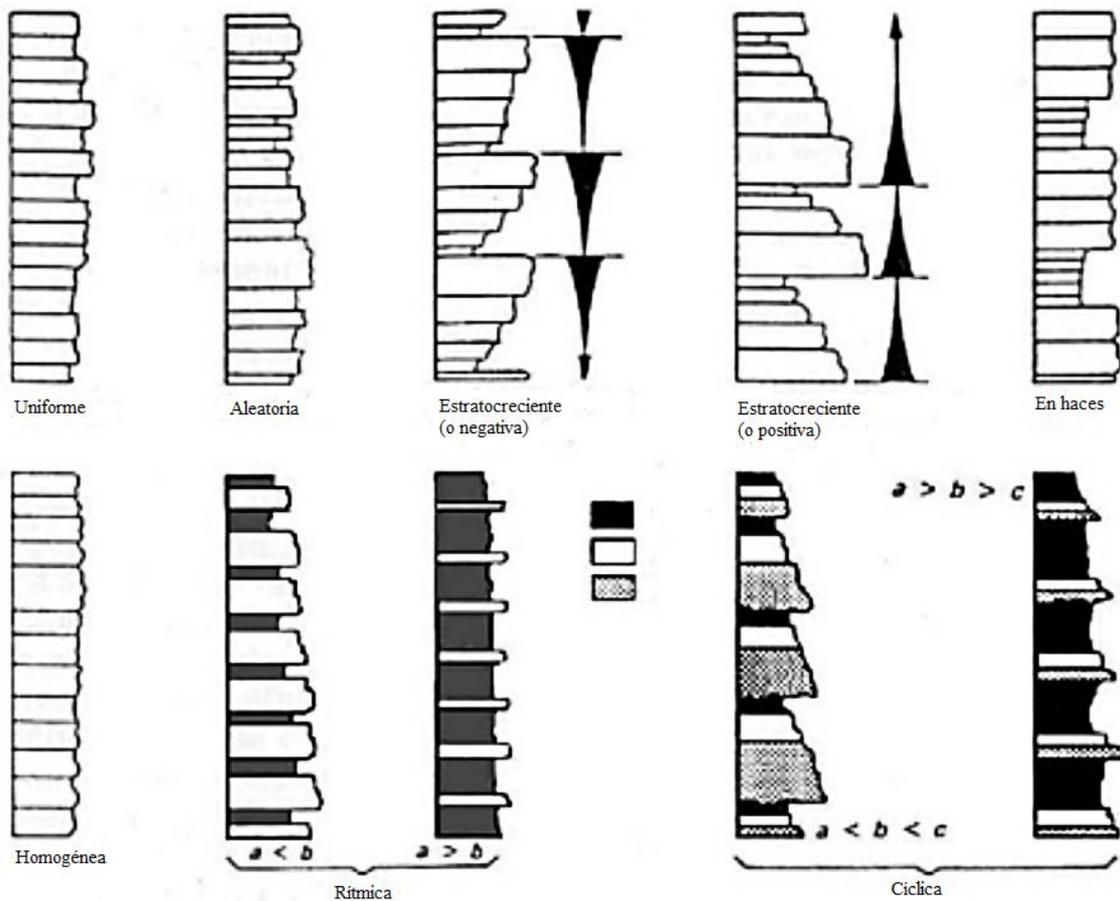


Figura N° 4. Tipos de asociaciones de estratos basados en la distribución de espesores y en las litologías Presentes. Las letras a, b y c son litologías diferentes, con a como mayor granulometría y c de menor (Vera, 1994).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Unidad litoestratigráfica: Cuerpo de estratos constituido por rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, o asociaciones de éstas, que se caracterizan por presentar una forma estratificada o tabular, ser consolidadas o no consolidadas, y seguir la ley de Superposición (Montero, 1997).

Ambiente sedimentario: Los ambientes sedimentarios son zonas de la superficie terrestre donde pueden acumularse sedimentos. Los ambientes sedimentarios se clasifican en continentales (desértico, glacial, aluvial, fluvial, lacustre); marinos (plataforma, talud, llanura abisal); y de transición (deltaico, playero, estuario) (Torres, 1994).

Estrato: Sinónimos: camada o capa. Es la roca formada por la sedimentación de fragmentos o partículas provenientes de la desintegración de las rocas pre-existentes o de la precipitación de las soluciones químicas acuosas. El estrato es de origen sedimentario y puede encontrarse tanto en rocas sedimentarias como metamórficas. Los estratos pueden ser: concordantes, discordantes y cruzados. También pueden ser divergentes o convergentes según su buzamiento (Dávila, 2011).

Cronoestratigrafía: Campo de la estratigrafía que se ocupa del estudio de la organización de los estratos en base a su edad y tiempo de formación (Dávila, 2011).

Bioestratigrafía: Datación geológica basada en el estudio de los fósiles encontrados en los estratos (Dávila, 2011).

Fósil: Resto o vestigio de seres vivos que dejaron sus huellas en las rocas de la corteza terrestre. Los fósiles constituyen la base fundamental para la determinación de la edad de las rocas donde se encuentran (Dávila, 2011).

Nódulos y concreciones: En las rocas sedimentarias es muy frecuente la presencia de cuerpos irregulares o cuerpos concrecionarios (CC). Formados por precipitación o segregación de minerales, suelen denominarse nódulos o concreciones (en geología, concreción significa acumulación de materia alrededor de un núcleo o sobre una superficie). Desde los nódulos de sílex, tan vinculados con los albores de la humanidad, hasta ágatas, pasando por los nódulos de yeso o de carbonato, las concreciones ferruginosas; existe un amplio abanico de cuerpos concrecionarios (Torrijo, 2010).

CAPÍTULO III MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Política

Se ubica en la región Cajamarca, departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito La Encañada, tiene una extensión 635.06 Km², se encuentra a 3098 msnm. Limita al sur con el distrito de Gregorio Pita, al suroeste con el distrito de Namora, al norte con el distrito de Hualgayoc, al noreste con el distrito de Bambamarca, al este con los distritos de Sucre, Sorochuco y Huasmín, al oeste con los distritos de Los Baños del Inca y Cajamarca (Huanacuni, 2010).

3.1.2. Geográfica

La investigación se encuentra localizada al noreste de la ciudad de Cajamarca aproximadamente a 33 km. En el trayecto de Cajamarca-Celendín, ubicada en la zona 17S en la hoja 15-g cuadrángulo de San Marcos y se encuentra dentro de las siguientes coordenadas sistema UTM DATUM WGS-84.

TABLA N° 1. Vértices con sus respectivas coordenadas (ver PLANO N°2).

COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO		
Vértices	Norte	Este
1	9220718	789909
2	9220718	807319
3	9209235	807319
4	9209235	789909

3.1.3. Accesibilidad

La vía principal hacia la zona de investigación es la carretera asfaltada Cajamarca-Celendín a 60km aproximadamente de Cajamarca, con un tiempo 55 minutos en vehículo particular.

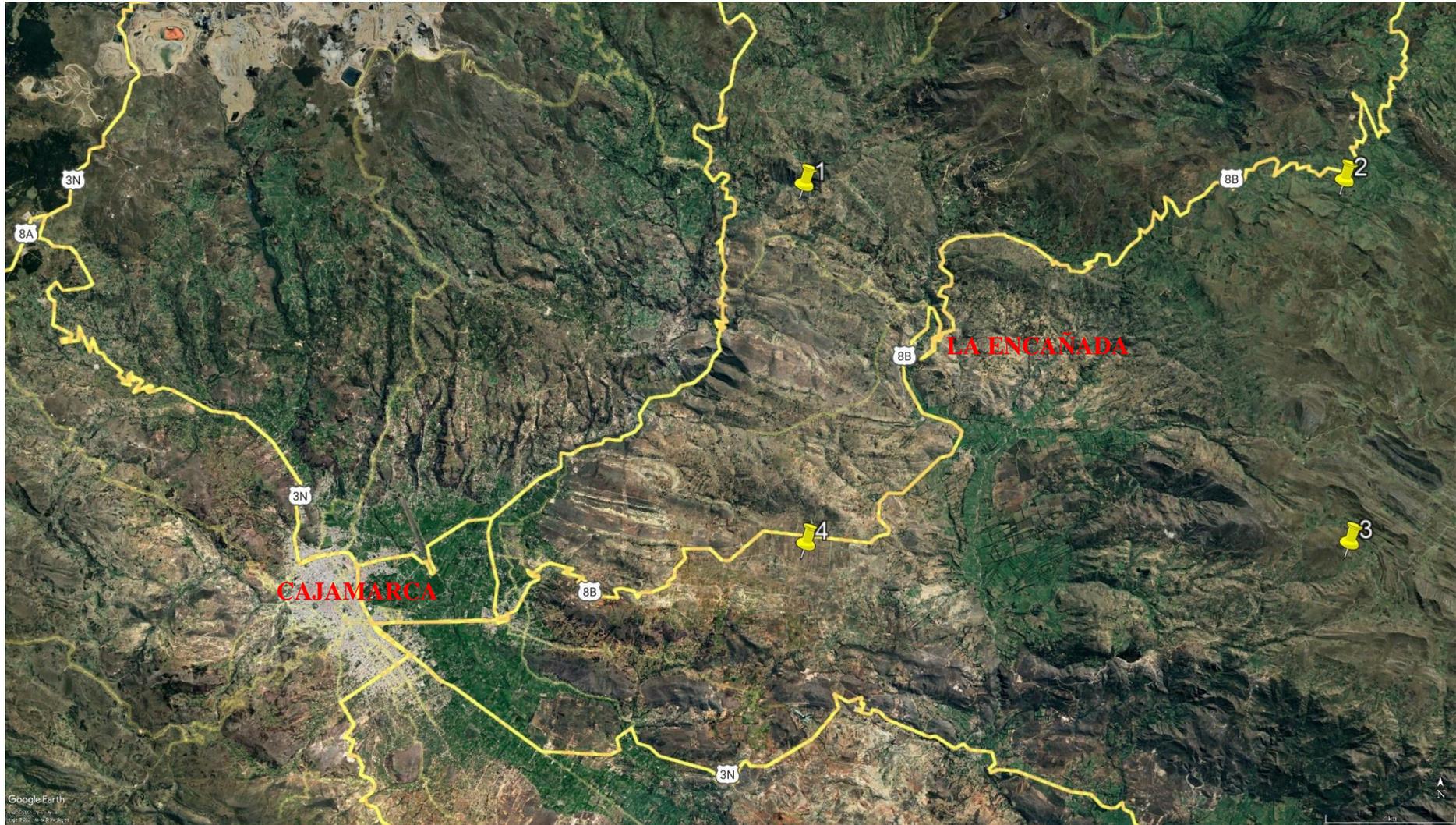


Figura N° 5. Accesibilidad a la zona de investigación delimitada por 4 vértices (Fuente: Google Earth Pro,2021).

3.1.4. Marco estratigráfico regional

Estratigráficamente, la secuencia más baja está representada por los clásticos del Grupo Mitu del Paleozoico Superior, que en otros lugares descansan discordantemente sobre las filitas del Complejo del Marañón. Este Grupo está cubierto por calizas triásico-liásicas del Grupo Pucará.

Posteriormente, durante el Titoniano y Neocomiano-Aptiano, en una cuenca de la parte occidental, se depositaron cerca de 3000m. de sedimentos (Chicama-Farrat), en contraste con lo acontecido en la plataforma o Geoanticlinal del Marañón, en donde sólo se han depositado 300m. de clásticos continentales del Grupo Goyllarisquizga.

Desde el Albiano al Santoniano, la parte occidental recibió más de 2,000m. de sedimentos calcáreos, mientras que, en la parte oriental posteriormente sumergida, la sedimentación fue menor. La primera está relacionada con las Formaciones Inca, Chúlec y Pariatambo (equivalentes al Grupo Crisnejas del sector oriental), mientras que las Formaciones Yumagual, Quilquiñán, Mujarrúm y Celendín son comunes en ambos sectores.

En el Cretácico tardío, ocurre el primer movimiento deformatorio del Ciclo Andino caracterizado por un levantamiento mayor de la zona de cuenca, dando lugar a una acumulación clástica rojiza sobre la plataforma y el resto de la cuenca (Formación Chota). Este evento fue seguido durante el Paleógeno temprano, por el segundo y principal movimiento deformatorio del Ciclo Andino, el mismo que afectó a todas las formaciones de la cuenca dando lugar a las principales provincias estructurales. Después de un largo período de estabilización, la erosión originó una acumulación conglomerádica en las partes bajas (Formación Huaylas) y la aparición de una superficie desgastada, sobre la cual se acumuló la serie volcánica-clástica sub-aérea del Grupo Calipuy en la parte media del Paleógeno temprano. A fines del Paleógeno temprano comienza el tercer movimiento deformatorio del Ciclo Andino -probablemente relacionado con el fallamiento en bloques del basamento- que repercutió con un ondulamiento sobre la costra volcánico-clástica del Grupo Calipuy y, aparentemente, por una ondulación superpuesta sobre la serie Cretácea anteriormente plegada con la misma dirección andina. Inmediatamente después, a comienzos del Paleógeno Medio, tuvo lugar el emplazamiento de la mayoría de los cuerpos intrusivos del Batolito Andino.

A partir del Oligoceno, y después de otro largo período de estabilización, se formó la superficie de erosión denominada, Superficie Puna, probablemente afectando en muchos

lugares, hasta el basamento y rocas intrusivas. En estas condiciones se inicia aparentemente en forma cíclica, el cuarto movimiento deformativo del Ciclo Andino (epirogenético), ocasionando superficies de erosión a diferentes niveles a partir del Mio-Plioceno. Estas superficies algunas veces fueron rellenadas por materiales volcánicos tardíos (Volcánico Huambos) y por sedimentos lacustres en las cuencas continentales (Formación Cajabamba). Finalmente, como subproducto de la glaciación Plio-Pleistocénica se acumuló por acción fluvial en las partes bajas, una serie de materiales fluvioglaciares (Formación Condebamba) y depósitos recientes en las innumerables lagunas que progresivamente han ido desaguándose. (Boletín N°31)

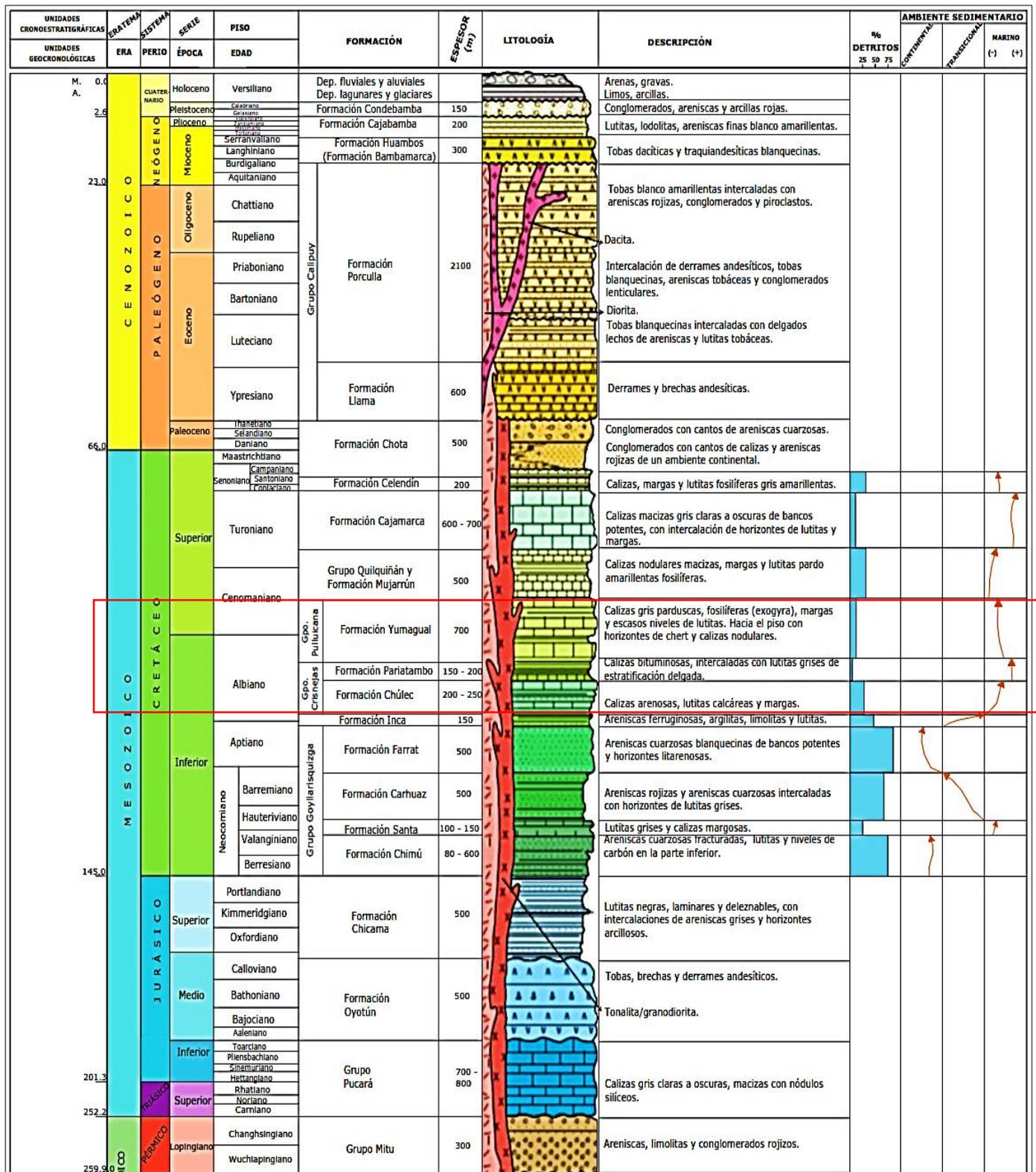


Figura N° 6. Columna estratigráfica de la región Cajamarca. Fuente: INGEMMET modificado por (Herrera,2012).

3.2. PROCEDIMIENTOS

La ejecución de la investigación está comprendida dentro de tres aspectos que fueron una de revisión bibliográfica, trabajo de campo y elaboración del informe final. El trabajo de campo permitió utilizar técnicas que nos ha permitido realizar toma datos confiables, para elaborar columnas estratigráficas en La Encañada teniendo en cuenta fichas de recolección de datos y medidas de espesores y características litoestratigráficas, que permite resultados verídicos para una buena interpretación. El tiempo de duración de la investigación es de seis meses (julio-diciembre del 2019), las tres etapas se detallan a continuación:

Etapa 1 - Revisión bibliográfica

En esta etapa se realizó la búsqueda y análisis de la información sobre estudios realizados en la zona de trabajo y relacionados con el proyecto de tesis; así también se revisó publicaciones, artículos científicos y tesis relacionadas a sedimentología y estratigrafía, para poder ampliar conceptos a realizar en la presente tesis.

Etapa 2 - Trabajo de campo

Se realizó un reconocimiento del área de investigación, ubicando las zonas más accesibles con mayor representatividad y exposición para el levantamiento estratigráfico y una descripción geológica generalizada de las formaciones presentes en el distrito La Encañada.

a) Levantamiento de secciones estratigráficas

Se procedió a la toma de datos medición de afloramientos rocos con mayor continuidad las cuales la mayoría son representativas en el trayecto de la carretera La Encañada-Celendín y algunos caminos sin afirmar dada la problemática por proyectos mineros en la zona de investigación.

b) Descripción de secciones estratigráficas

Se mide espesores de capas, describiéndose para cada una de ellas, características texturales como color, geometría, variación lateral, contactos, estructuras sedimentarias, fósiles, fallas, secuencia deposicional y demás características para lograr una detallada descripción y posterior levantamiento de la columna u afloramiento.

C) Recolección y nomenclatura de muestras

Recolección de muestras para el estudio litológico y paleontológico en afloramientos representativos y sus coordenadas respectivas en sistema UTM y Datum WGS-84, para determinar su paleoambiente de formación y su geocronoestratigrafía en el tiempo geológico.

Etapa 3 - Elaboración del informe final

En esta última etapa con los datos obtenidos, columnas elaboradas en campo, muestras representativas tomadas procediendo a integrar e interpretar en Microsoft Excel, Global Mapper, SAS Planet, Sostware ArcGIS 10.3 y AutoCAD 2018 para comparar con información obtenida inicialmente de la bibliografía para finalmente proceder a la elaboración final de la tesis.

3.2.1. Metodología

3.2.1.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación

Por el tipo de investigación, es descriptivo y explicativo no experimental y transversal en el tiempo. En cuanto a los métodos de la investigación que se utilizan son: descriptiva, analítica, deductiva y explicativa.

3.2.1.2. Población de estudio

La población está manifestada por el distrito de La Encañada.

3.2.1.3. Muestra

Afloramientos de litología, estructuras, texturas, facies.

3.2.1.4. Unidad de análisis

Rocas sedimentarias relacionadas según sus características litobioestratigráficas, fósiles de ambiente marino y su correlación hace millones de años Ma.

3.2.2. Definición de variables

En la investigación se identifica variables independientes y dependientes que se relacionan directamente tal como se muestra en la tabla siguiente.

TABLA N° 2. Definición de variables en la investigación.

Independiente (causa)	Dependiente (efecto)
Litología Bioestratigrafía Facies Tiempo geológico	Estratigrafía y Sedimentología

3.2.3. Técnicas

Se emplearán la observación dirigida, la medición, toma de fotografías, descripción macroscópica de muestras y recolección de datos in situ; para ello se tiene en cuenta un análisis detallado de los distintos afloramientos en el distrito de La Encañada. Mapas para el cartografiado geológico, fichas para la descripción de afloramientos y medición de columnas estratigráficas.

3.2.4. Instrumentos y equipos

- GPS Navegatorio Garmin, proyección en sistema UTM y Datum WGS-84.
- Planos proyección en sistema UTM y Datum WGS-84, es una herramienta útil pues en ella se plasmaron los datos geológicos obtenidos en campo. Se utilizó a diferentes escalas dada la extensión del área de investigación.
- Brújula The Brunton. Instrumento sirvió para la toma de la dirección e inclinación de estructuras geológicas.
- Picota ESTWING Mango Largo. Utilizado para la obtención de las muestras de mano
- Lupa IWAMOTO 10x-20x. Utilizado para observar los minerales constituyentes de las rocas, sus texturas.
- Lápiz de dureza General (Rayador). Diferenciar según dureza y color de raya los diferentes tipos de minerales y rocas.
- Ácido clorhídrico al 20% para determinar macroscópicamente la composición de las rocas.
- Bolsas de muestreo. Bolsas de polietileno para el análisis de los diferentes tipos de roca y su contenido fosilífero existente.

- Libreta de campo. Utilizado para la breve interpretación de secciones geológicas y anotaciones de todo lo observable en campo en cuanto a lo geológico.
- Protactor. Instrumento que reemplaza al transportador. Es una especie de regla que mide la distancia angular y sirve para plasmar los datos de la brújula en los planos topográficos.
- Flexómetro. Sirvió para medir los estratos en los distintos afloramientos en campo.
- Otros: Tablero para geólogo, chaleco para geólogo, porta picota, colores, plumón indeleble, cámara fotográfica digital, fichas para elaboración de columnas estratigráficas.
- Software: Office 2016, AutoCad 2018, ArcGis 10.3, Google Earth Pro, Global Mapper, SAS Planet.

Fichas de recolección de datos para la elaboración de las columnas se está utilizando formato de ficha para la elaboración de columna litobioestratigráfico, para lo cual se ubicará con la columna estratigráfica general, parciales teniendo características paleoambientales, litológicas, estructuras, trama, código colores, secuencia estratigráfica, fósiles.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE DATOS

4.1.1. Geología estructural

Se observa la existencia de un sistema de fallas regionales (Punre Canchis – SFPC) que puede haber sido el canal para el emplazamiento de los sistemas porfiríticos (Minas Conga, El Galeno y Michiquillay).

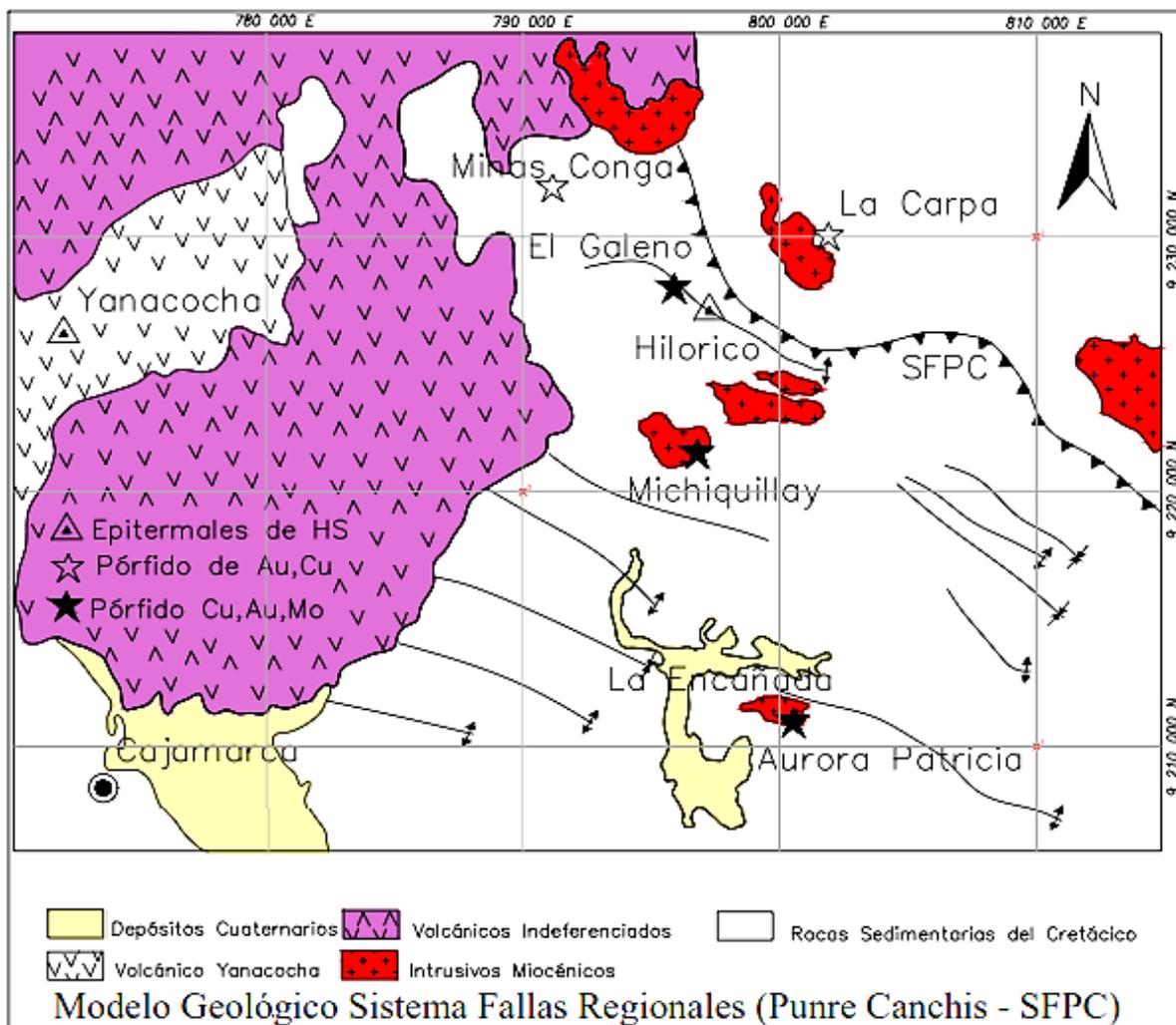


Figura N° 7. Mapa geológico regional, mostrando la ubicación de los principales depósitos mineralizados y su relación al SFPC. (Fuente: Rivera,2011).

Los datos geocronológicos (Ar-Ar) evidencian una evolución de estos depósitos en sentido NO paralelo al SFPC haciéndose cada vez más jóvenes en esta dirección, además la interpretación de imágenes satelitales (fallas y lineamientos) demuestran que estos depósitos se encuentran emplazados paralelamente al SFPC.

Desde el punto de vista exploratorio minero es claro que el SFPC jugó un papel predominante para el emplazamiento de estos depósitos, siendo considerado actualmente como un metalotecto estructural, con muchas expectativas de seguir encontrando más depósitos en su continuidad.

Por lo tanto, la zona de investigación está cerca del Proyecto Michiquillay y tiene dentro del área al Proyecto Aurora Patricia las cuales están influenciadas por este sistema de fallas regionales SFPC, los cuales causaron la deformación de los diferentes materiales rocosos originando diversas estructuras (anticlinales, sinclinales, fallas, pliegues.)

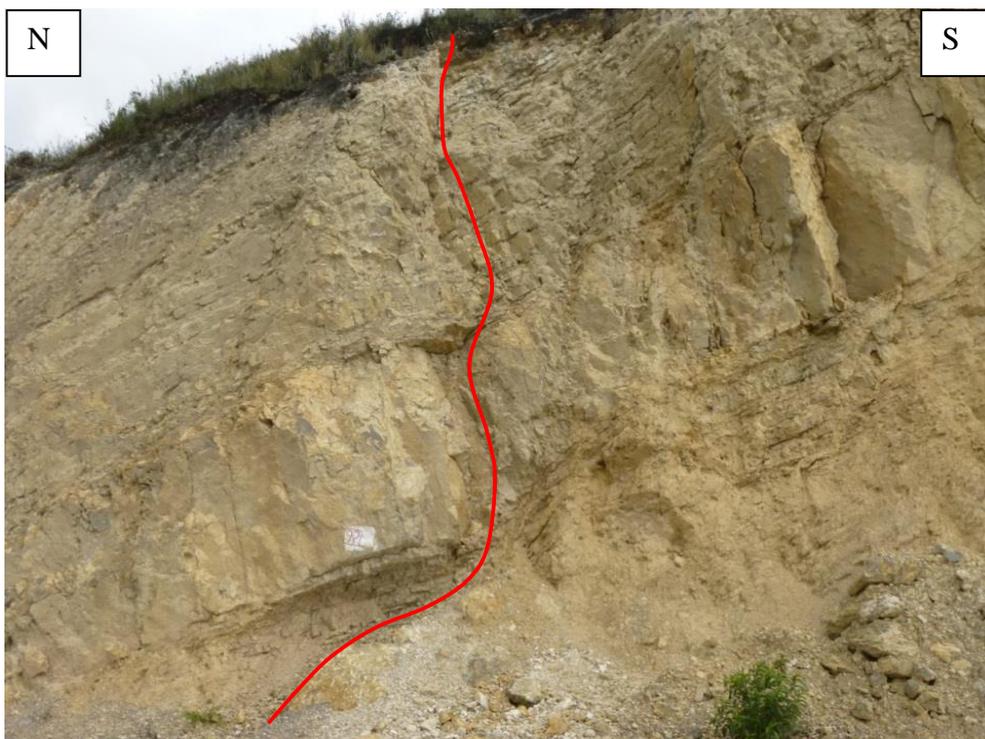


Foto N° 1. Zona plegada por tectonismo en calizas intemperizadas de coloración parda amarillenta en la Fm. Chúlec, Coordenadas: N: 9216329, E: 794247, Cota: 3199 m.s.n.m.



Foto N° 2. Sinclinal en la Fm. Pariatambo, calizas grises bituminosas intercaladas con limolitas calcáreas. Coordenadas: N: 9216276, E: 793669, Cota: 3117 m.s.n.m.

4.1.2. Paleontología

Los fósiles se encuentran mayormente en rocas sedimentarias detríticas (arcillitas, limolitas, areniscas), o formando parte de las mismas por precipitación de carbonato de calcio en calizas; o en rocas producto de una acumulación del organismo que los produce (diatomita, radiolarita, lodos de nanoplancton calcáreo, lumaquela, carbón mineral).

Los ecosistemas marinos que se caracterizan por su gran biodiversidad, corresponden a zonas marino-costeras con una alta productividad primaria, así como a zonas restringidas a bahías y archipiélagos. En el periodo Cretácico gran parte del territorio que ahora incluye a los Andes se encontraba bajo el agua formando un gran mar interior (mar epéirico), lo que permitió conservar una importante biodiversidad en forma de fósiles hasta nuestros días.

La Formación Pariatambo subyace en el Perú central a la Formación Jumasha y en Cajamarca a la Formación Yumagual.

Las Formaciones Chúlec y Pariatambo tienen una rica fauna. La Formación Chúlec contiene ammonites, exógyras y bivalvos del Albiano medio. La Formación Pariatambo contiene amonites, bivalvos y crinoides del Albiano superior.

4.1.2.1. Exogyra

Ubicación: Formación Chúlec

Coordenadas: N: 9216407 E: 793610, Cota: 3171 m.s.n.m.



Foto N° 3. Fósil Exogyra se aprecia una vista frontal se observa una valva ornamentada hacia la tapa con sus líneas de crecimiento.

Descripción:

Detalle de dos ejemplares de exogyra y un molde con la impresión fósil negativa donde se aprecia la valva enroscada y se aprecia en el molde una marcada ornamentada. Ejemplares de unos 2cm de longitud en la parte central.

Clasificación:

Orden: Ostreoida

Superfamilia: Ostreoidea

Familia: Gryphaeidae Vialov, 1936

Subfamilia: Exogyrinae Vialov, 1936

Género: Exogyra Say, 1820

Especie: Exogyra trigeri (Coquand, 1869)

Características morfológicas:

Los individuos del género Exogyra los caracterizaba una valva izquierda enroscada en espiral y marcadamente ornamentada, que fijaría el molusco al sustrato en toda su superficie, y una de más pequeña apretón y llanura que haría de tapa.

Datación/Distribución:

Género extinto de ostras típico del Jurásico y del Cretácico.

Hábitat:

Los individuos del género *Exogyra* vivieron en sustratos duros de mares cálidos a poca profundidad.

Procedencia:

Distrito de La Encañada.

4.1.2.2. Turritella

Ubicación: Formación Pariatambo

Coordenadas: N: 9216651 E: 793218, Cota: 3273 m.s.n.m.

[Hacia la parte superior del distrito La Encañada existe afloramientos muy fosilíferos pero muy pocas bien conservadas producto del intemperismo, interacción con aguas meteóricas; es así su estado de conservación a nivel superficial, una lumaquela con una pequeña biozona de fósiles gasterópodos en la Formación Pariatambo también se observa fósiles de *Turritella*.

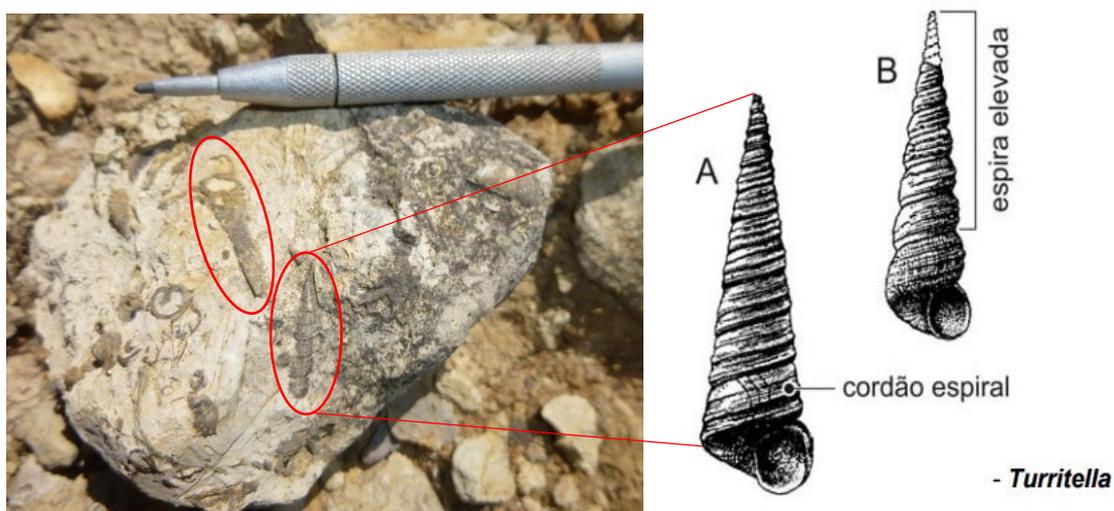


Foto N° 4. Dos fósiles de *Turritella* a la derecha en la parte central de la muestra de mano presente en la Fm. Pariatambo, y a la izquierda imagen de referencia comparando fósiles de turritelas.

Descripción:

Detalle de dos ejemplares de turritella, donde se aprecia la concha cónica puntiaguda y turriculada ornamento de espiral muy marcado. Ejemplares de unos 2,7cm de longitud en la parte central de la caliza.

Clasificación:

Clase: GASTROPODA Cuvier, 1797

Orden: CAENOGASTROPODA Cox, 1959

Superfamilia: CERITHIACEA Fleming, 1822

Familia: TURRITELLIDAE Woodward, 1851

Género: Turritella LAMARCK, 1799

Especie: Turritella infracarinata OLSSON 1928

Características morfológicas:

Concha de tamaño medio a grande (puede alcanzar hasta 7cm de longitud), de forma cónica turriculada, estrecha alta y puntiaguda. Vueltas de espira variables pero próximas a un número de 20, aplanadas a convexas y que están ornamentadas a base de cordones espirales o costillas que oscilan entre 3 y 6 separadas por suturas profundas. La última vuelta es baja (aproximadamente la cuarta o quinta parte de la altura total) y es de forma cilíndrica a ovalada. La apertura es pequeña y redondeada, a veces angulosa en el extremo superior.

Datación/Distribución:

Se trata de un género que abarca desde el Cretácico hasta nuestros días, teniendo una amplia distribución por todos los mares y océanos del mundo.

En el caso que nos ocupa, tienen una datación en el cretácico inferior, por las características que toma en el sustrato y debido a que se halla en la Formación Pariatambo.

Hábitat:

Son organismos endobentónicos que viven enterrados parcialmente en fondos marinos, preferentemente arenosos y fangosos, relativamente profundos.

Procedencia:

Distrito de La Encañada.

4.1.2.3. Ostrea

Ubicación: Formación Pariatambo

Coordenadas: N: 9216892 E: 793227, Cota: 3317 m.s.n.m.

Hacia la parte superior del distrito La Encañada existe zonas fosilíferas pero muy pocas bien conservadas producto del intemperismo, interacción con aguas meteóricas; es así su estado de conservación a nivel superficial, una Ostrea.

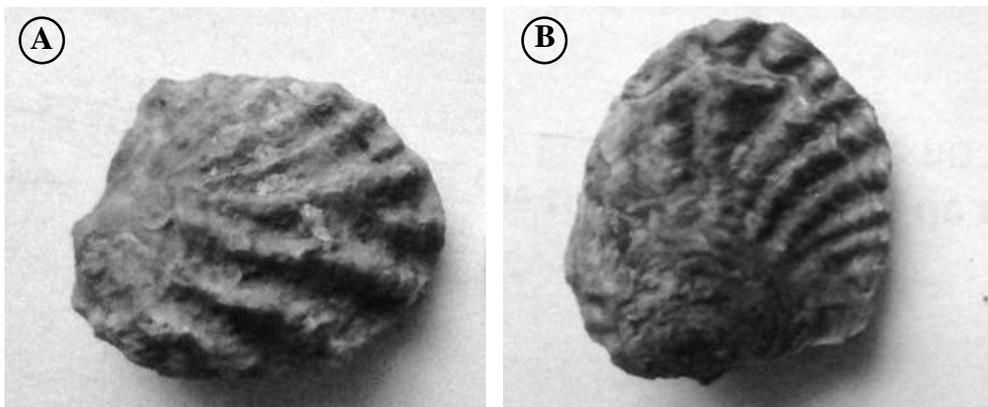


Foto N° 5. Fósil de Nicaisolopha Nicaisei A) Vista de la valva superior, B) Vista de la valva inferior.

Descripción:

Se tiene un ejemplar de Ostrea, donde se aprecia los anillos de crecimiento marcados. Ejemplar de unos 2,6 x 2cm.

Clasificación:

Clase: Bivalvia Linnaeus, 1758

Orden: Ostreoida

Familia: Ostridae

Género: Ostrea

Especie: Nicaisolopha Nicaisei COQUAND, 1862

Características morfológicas:

Concha inequivalva, redondeada, de hasta 10cm de longitud, la inferior plana, en forma de plato, muy esculpida; la parte superior más convexa, con los anillos de crecimiento marcados por expansiones foliáceas. Valvas con el mismo contorno exterior y toscas. Charnela sin dientes y ligamento externo.

Datación/Distribución:

Se trata de un género que abarca desde el Cretácico hasta nuestros días, teniendo una amplia distribución por todos los mares y océanos del mundo.

Hábitat:

Infralitoral, hasta 80 metros, fijada a rocas. Concha frecuentemente colonizada por otros organismos.

Procedencia:

Distrito de La Encañada.

4.1.2.4. Bivalvo

Ubicación: Formación Pariatambo cerca al contacto con dique.

Coordenadas: N: 9217322 E: 793770, Cota: 3262 m.s.n.m.

Durante el Cretácico superior el nivel del mar subió en todo el mundo, inundando casi un tercio de la superficie terrestre actual. Así el calor del sol pudo distribuirse más hacia el norte gracias a las corrientes marinas dando lugar a un clima global cálido y suave sin casquete de hielo en los polos y una temperatura en las aguas del Ártico de 14 ° C o más (Aldana, 2013).

Este fósil se presenta hacia la parte del miembro superior de la Formación Pariatambo hay un claro cambio de paleoambiente, de un ambiente euxínico y reductor a uno más oxidante.



Foto N° 6. Bivalvo ubicado hacia el miembro superior Fm.Pariatambo en las calizas mucho más claras.

Descripción:

Ejemplar de unos 3.5cm de longitud con vista de una valva y la lúnula tiene una forma de corazón.

Clasificación:

Clase: BIVALVIA Linnaeus, 1758

Subclase: HETERODONTA Neumayr, 1884

Orden: VENEROIDA Adams & Adams, 1856

Familia: VENERIDAE Rafinesque, 1815

Subfamilia: DOSINIINAE Deshayes 1858

Género: DOSINIA Scopoli, 1777

Características morfológicas:

Molusco bivalvo con una concha casi circular, de 5-6cm de longitud, inequilateral, con los umbos pequeños pero diferenciables. Profundamente cóncavo en la parte posterior, profundamente cóncavo en la parte inmediata anterior a los umbos, con una fuerte unión en forma de arco con el margen anterior. La lúnula tiene forma de corazón y es tan ancha como larga.

Datación/Distribución:

En el caso que nos ocupa, tienen una datación final del Cretácico Inferior, por las características que toma y debido a que se halla en la Formación Pariatambo.

Hábitat:

En sedimentos, hasta 100 metros de profundidad.

Procedencia:

Distrito de La Encañada.

4.1.2.5. Oxytropidoceras

Ubicación: Margen derecha carretera La Encañada-Celendín

Coordenadas: N: 9216617 E: 794429, Cota: 3189 m.s.n.m.

Moldes de Oxytropidocera presente en mayor abundancia en calizas del Miembro Inferior de la Formación Pariatambo.

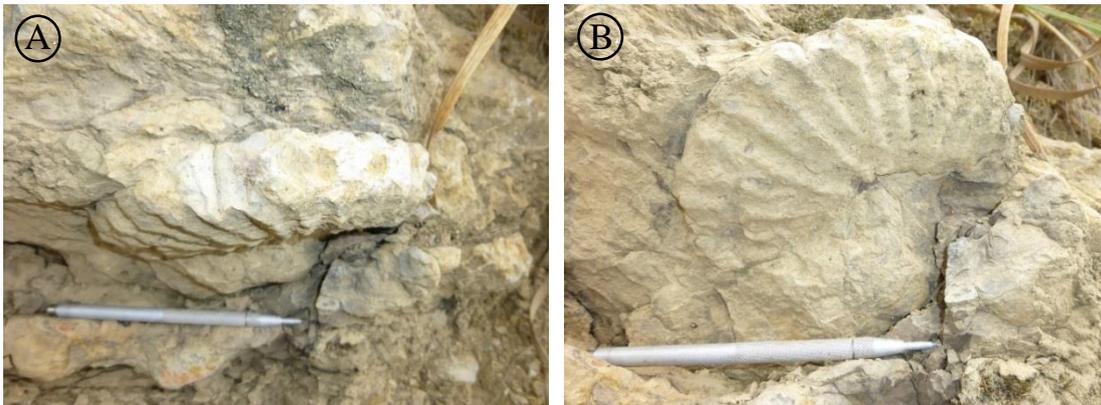


Foto N° 7. A) Cara lateral con la carena deteriorada del ammonite dentro de nódulos esferoidales. B) Cara frontal Oxytropidoceras (Oxytropidoceras) cf. O. (O.) carbunarium (GABB).

Descripción:

Detalle de un ejemplar de Oxytropidocera, donde se aprecia las costillas muy definidas y la carena cordada un poco deteriorada por esta expuesta a los procesos geológicos externos. Ejemplar de unos 17cm de longitud, referencia un rayador de escala 14cm.

Clasificación:

Clase: Cephalopoda

Orden: Ammonoidea

Familia: Brancoceratidae

Subfamilia: Amonites

Género: Oxytropidoceras

Especie: Carbonarium GABB

Características morfológicas:

La morfología que presentan las conchas es muy variada, aunque mayoritariamente suele ser cónica y enrollada en espiral.

Datación/Distribución:

Aparecen en el Devónico y se extinguieron a finales del Cretácico.

Benavides (1956) considera que estos fósiles indican la parte superior del Albiano.

Hábitat:

Se cree que vivían a profundidades comprendidas entre los 50 y 100m, aunque algunos de ellos podrían hacerlo a profundidades superiores a los 700m. Su modo de vida era muy variable, existiendo especies prácticamente sésiles y otras que eran excepcionales nadadoras. Como los cefalópodos actuales, debieron ser carnívoros, alimentándose de peces y crustáceos. El representante actual más parecido a ellos es el Nautilus.

Procedencia:

Distrito de La Encañada.

Impresión Fósil Negativa ammonite

Molde con la impresión fósil negativa del ammonite Oxytropidoceras, no se logra encontrar el fósil directo dentro de los estratos de la Formación Pariatambo.



Foto N° 8. Impresión fósil negativa Oxytropidoceras en la Fm.Pariatambo en calizas negras a grises del flanco izquierdo del anticlinal ubicado en el distrito La Encañada.

4.1.3. Marco estratigráfico local

Las series sedimentarias correspondientes al Sistema Cretácico en los Andes peruanos que se ubican en el lado occidental de la margen andina, yacen en discordancia sobre terrenos de diferentes edades, desde el Precámbrico hasta el Jurásico Superior, según los lugares.

4.1.3.1. Secuencia inferior

Sobre la paleoplatформа estable se presenta esencialmente en tres grandes secuencias, una secuencia inferior (Berriasiano-Aptiano) que por parte pertenece a la plataforma siliciclástica que conforman el delta del Grupo Goyllarisquizga y sus equivalentes laterales según los lugares (Jacay,2005).

Ante la escasa exposición de afloramientos hacia las zonas con más pendiente, la toma de data y elaboración de columnas se hizo en cortes de carretera La Encañada-Celendín y en algunos caminos sin afirmar, que se podía acceder dada la problemática social por los proyectos mineros presentes en la zona de investigación (Proyecto Michiquillay y Proyecto Aurora Patricia).

4.1.3.2. Segunda secuencia

Una segunda secuencia del Albiano-Turoniano al Campaniano que pertenece a una gran plataforma carbonatada epicontinental, y la tercera secuencia al tope del Cretácico Superior (Campaniano-Maestrichiano) compuesta por las series rojas continentales que

pertenecen a procesos de inversión tectónica y transición a cuencas de antepaís (Jacay,2005).

A partir del Albiano basal, la sedimentación cambia de siliciclástica (fluvio - deltáica) a carbonatada (marina), lo que probablemente se relacione a la subida del nivel del mar en el Aptiano Superior (Haq et al, 1987); conformando la gran secuencia del Albiano-Turoniano al Campaniano que pertenece a una gran plataforma carbonatada epicontinental (Formaciones Pariahuanca-Inca, Chúlec, Pariatambo, Jumasha, Chonta y equivalentes) donde podemos notar varios ciclos sedimentarios sobre toda la margen de los andes del Perú central y norte durante el Cretácico, los que han sido ampliamente tratados por Romaní (1982), Jaillard (1985, 1986 y 1987) y Robert (2001).

4.1.4. GRUPO CRISNEJAS

4.1.4.1. Formación Chúlec

La transgresión del Aptiano superior - Albiano medio.

La Formación Inca (80 a 200m. Aptiano superior) está constituida de margas y calizas arenosas, ricas en óxidos de hierro. En la base de la formación, se observan disconformidades (Wilson y Reyes, 1964), Cobbing et al., 1981), conglomerados (Baldock, inédito) o brechas (Wilson, 19184), así como algunas estructuras de deslizamiento “slumps” y pequeñas fallas sinsedimentarias. Estas observaciones parecen traducir una ligera inestabilidad tectónica coetánea del inicio de la transgresión. La Formación Inca es una secuencia transgresiva, desde un medio de plataforma interna sometida a una influencia terrígena nítida, hasta un medio de plataforma más profunda y más abierta en su tope (Higa, trabajo inédito). Una discontinuidad sedimentaria importante la separa de la Formación Chúlec.

La Formación Chúlec (100 a 400m. Albiano Inferior) es una sucesión monótona de margas y calizas margosas en estratos delgados, que contiene una fauna abundante de mar abierto. La Formación se vuelve más arenosa hacia el este (Benavides, 1956). El pasaje a la Formación Pariatambo parece gradual.

4.1.4.1.1. Flanco derecho del anticlinal en el distrito La Encañada

Coordenadas: N: 9216533 E: 793971, Cota: 3146 m.s.n.m.

Compuestas litológicamente de una alternancia de calizas mudstone hacia la base color pardas por ser menos resistentes a la erosión muy característica de esta formación, no existe presencia notoria de limolitas. Las calizas arenosas masivas conforme avanzamos

con el perfil se intercalan con limolitas grises de estratos delgados, en el miembro medio calizas packstone de menor potencia con pocos niveles de limolitas. Margas color cremas a beige conforme sigue gradando los estratos los cuales están intercaladas con calizas pardas, llegando a casi los 200m, del perfil y las calizas mudstone arenosas se presentan sin niveles de limolitas. En el miembro superior las limolitas grises se presentan con más notoriedad y las margas se presentan en moderados estratos.

Litofacies

Calizas packstone

(Ver Foto N°9)

Calizas nodulares

Margas

Limolitas calcáreas



Foto N° 9. Calizas packstone con textura grano-soportada y con matriz micrítica. El espacio intergranular está ocupado por micrita, se observa gran cantidad de restos fósiles.

Componentes originales no enlazados durante el depósito			Sin matriz y grano-sostenida	Componentes originales enlazados orgánicamente	Textura original no reconocible Carbonatos cristalinos	> 10% de granos granos > 2 mm		Tipo de enlace orgánico		
Con matriz		Grano-sostenida				Sostenida por la matriz	Grano-sostenida	organism. actúan como pantallas	organism. incrustan y enlazan	organism. construyen un edificio rígido
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos									
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline	Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone
DUNHAM			EMBRY Y KLOVAN							

Figura N° 8. Clasificamos la muestra (Foto N°9), por su material y contenido de bioclastos como packstone por el ambiente de sedimentación (Descripción macroscópica) (Ver Figura N°25, pág.96).

Biofacies

No existe presencia de fósiles completos para determinar el tipo y sus características más relevantes, encontramos solo algunos restos fragmentados en roca en gran cantidad.

Estructura sedimentaria

Una geometría con laminación paralela hacía la base del perfil del flanco derecho del anticlinal, y conforme grada se intercala con calizas mudstone arenosas color beige con limolitas calcáreas 0.05-0.10m de espesor. Se presentan calizas masivas de menor resistencia color pardo amarillenta (2-3m de espesor) por intemperismo, sigue la secuencia del perfil las calizas arenosas intercalan con limolitas gris oscuro (3m de espesor) con calizas wackestone masivas que gradan hacía pequeños paquetes de margas color beige dispuestas tabularmente. El miembro medio se tiene grietas de desecación a modo de una red de polígonos esparcidos en la roca color amarillenta en laminaciones paralelas, laminaciones onduladas. Conforme avanzamos al miembro superior notamos margas color crema con superficie ondulada para seguir calizas nodulares color pardo amarillentas, se desaparecen las calizas masivas haciéndose más notorio las limolitas de 0.20-0.25m de espesor con presencia de margas laminadas color crema con un promedio (2-3m de espesor), y calizas arenosas las cuales presentan estructuras de carga y pequeñas laminaciones onduladas por carga diferencial. Calizas de 0.15-0.30m intercaladas con limolitas calcáreas color negro en laminaciones paralelas y por tramos calcos de carga (load casts). Las calizas mudstone arenosas del miembro superior adquieren un pequeño afloramiento de calizas masivas para luego tener calizas tipo packstone en laminación paralela bastante fosilífera hasta el techo del perfil levantado. (Ver Columna N°2, pág.49).



Foto N° 10. Estructuras de carga por asentamiento diferencial y laminaciones paralelas presentes en calizas mudstone de la Fm. Chúlec, de coloración parda. Coordenadas: N: 9216533, E: 793971.

Ambiente de depositación

Desarrollados en mar abierto permitiendo la acumulación de material calcáreo (animales marinos) que aportaron por periodos de tiempo Albiano Inferior gran cantidad de sucesión estratigráfica de limolitas calcáreas que están en pequeños lentes en toda la columna levantada. Las calizas arenosas indican periodos regresivos en la cuenca los cuales aportaron significativamente sedimentos que ayudan a diferenciar esta formación de otras en el distrito La Encañada.

4.1.4.2. Formación Pariatambo

4.1.4.2.1. Flanco izquierdo del anticlinal

Coordenadas: N: 9216208 E: 793575, Cota: 3140 m.s.n.m

Litológicamente, consiste en limolitas negras bituminosas calcáreas en la base del flanco izquierdo del anticlinal las cuales son muy fisibles al tacto, intercalada con calizas negras mudstone de pequeño espesor que reaccionan al ácido clorhídrico 20% con un olor fétido dado su origen de formación paleoambiental en ambientes oxígeno-deficiente, las calizas nodulares en el miembro medio se intercalan con las limolitas calcáreas grises de pequeño espesor. Hacia el miembro medio las calizas de tipo mudstone se tornan de estructuras masivas las cuales suprayacen las limolitas que presentan calcos de carga (load casts). El

miembro superior del perfil presenta calizas mudstone de menor potencia intercaladas con limolitas calcáreas grises. Las calizas a diferencia del miembro inferior se presentan estratificación rítmica conforme avanza el perfil los niveles de arcillitas calcáreas pierden notoriedad.



Foto N° 11. Calizas nodulares estratificadas onduladamente en condiciones de mediana-alta energía color pardas por intemperismo intercaladas con limolitas calcáreas. Coordenadas: N: 9216208, E: 793575.

Litofacies

Calizas tipo mudstone
(Ver Foto N°12, pág.38)

Calizas nodulares

Limolitas calcáreas

Biofacies

Facies de ammonite
(Ver Foto N°27, pág.66)



Foto N° 12. Calizas grises de mediano espesor y presencia de estructuras de carga.

Componentes originales no enlazados durante el depósito				Componentes originales enlazados orgánicamente	Textura original no reconocible Carbonatos cristalinos	> 10% de granos granos > 2 mm		Tipo de enlace orgánico		
Con matriz		Grano-sostenida	Sin matriz y grano-sostenida			Sostenida por la matriz	Grano-sostenida	organism. actúan como pantallas	organism. incrustan y enlazan	organism. construyen un edificio rígido
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos									
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline	Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone

Figura N° 9. Clasificamos la muestra (Foto N°12), por su material y escaso contenido fósil como mudstone (Descripción macroscópica).

Estructura sedimentaria

Laminación paralela en la base del perfil, calizas mudstone con menor espesor estratos de 0.10 a 0.30m los cuales se intercalan con limolitas bituminosas negras calcáreas fisibles de 0.50 a 1m de potencia. El miembro medio presenta una estratificación rítmica limolitas negras con calizas mudstone que luego continúan a calizas nodulares de color gris de 0.20 a 0.30m de espesor con laminaciones onduladas, se presenta una falla normal que se extiende hasta el techo de la Formación Pariatambo. Conforme avanza el perfil estratigráfico las calizas se hacen masivas con load casts (calcos de carga) que son visibles a simple vista y se llega al techo de la formación con disminución de limolitas negras y las calizas se hacen menos potentes, con laminación paralela en todo el techo.

Existe una intercalación entre calizas pardas por intemperismo con limolitas oscuras potentes hacia la base de la columna estratigráfica, en el miembro medio existe un moderado plegamiento producto de la acción de una falla normal. En la parte media se observa la presencia de una estructura sedimentaria de laminación convoluta por acción de saturación de agua al momento de su deposición, creando pseudo nódulos intercaladas con arcillitas. El afloramiento presenta un fuerte diaclasamiento que aumenta de la base hacia el techo (Ver Columna N°1, pág.43).

Estructuras de carga (load casts) por los estratos potentes de caliza presente en la zona de falla normal que es la continuación desde el miembro medio de la columna estratigráfica.

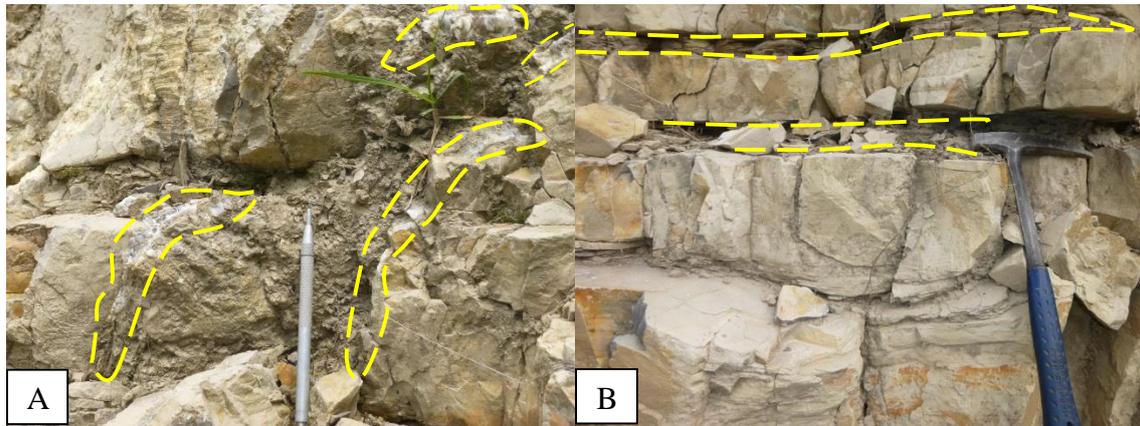


Foto N° 13. A. Calcita rellenando la zona de falla y B. Estructuras de carga que deforman las calizas conjuntamente con las limolitas calcáreas.



Foto N° 14. Venillas de calcita rellenando las calizas de la Fm.Pariatambo.

Estructuras sedimentarias químicas

Las estructuras químicas se generan en diversas circunstancias. Pueden ser sinsedimentarias o pertenecer a estadios diagenéticos tempranos o tardíos. Por este motivo brindan muchísima y variada información.

Concreciones o nodulos

Las concreciones son cuerpos esféricos a subsféricos postdepositacionales. Se generan como resultado de la precipitación localizada de un cemento en los espacios porales, en zonas donde las condiciones físico-químicas (e.g., Eh y pH) favorecen su precipitación. Es común que la precipitación comience en la periferia de algún organismo, donde su descomposición genera estos cambios localizados, o alrededor de conchillas carbonáticas que hacen de núcleo al cemento calcítico o aragonítico. El crecimiento puede ser concéntrico o pervasivo (Mozley 1996, Raiswell and Fisher 2000). En el crecimiento concéntrico la concreción crece por la acreción de sucesivas capas en la superficie en diferentes etapas. El crecimiento pervasivo la cementación del sedimento hospedante ocurre simultáneamente y desde el centro. Los cementos más comunes son calcita y aragonito, aunque también son frecuentes los sulfatos, fosfatos y los óxidos de hierro, entre otros.

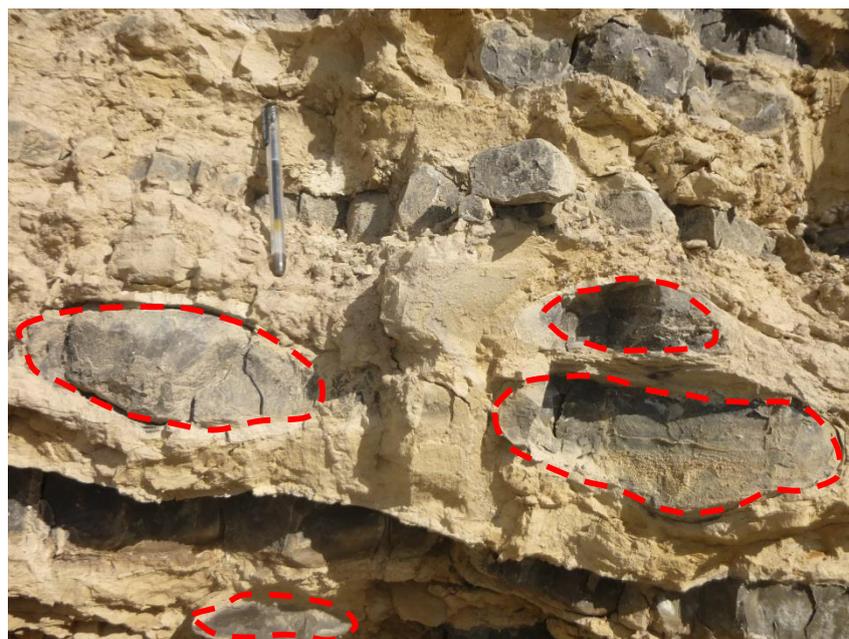
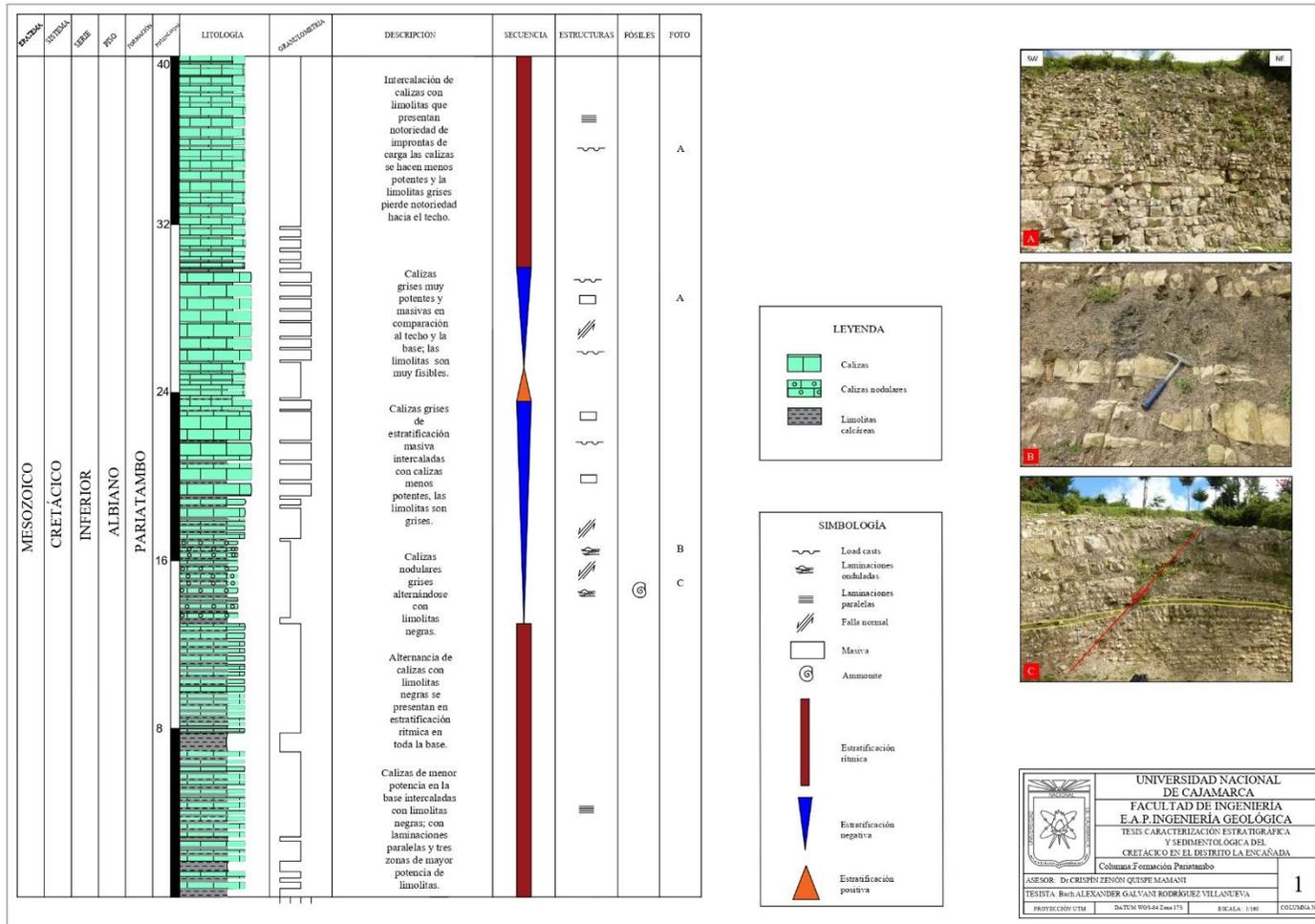


Foto N° 15. Concreción de calizas en la Fm. Pariatambo, intercalada con limolitas color pardo amarillento producto del intemperismo Coordenadas: N: 9216254, E: 793636; Cota: 3118 m.s.n.m.

Ambiente de depositación

Hacia el final del Albiano un mar de aguas profundas deposita una secuencia de limolitas calcáreas, bituminosas, negras, interestratificadas con calizas también bituminosas de olor fétido, fosilíferas, principalmente en concreciones grandes, discoideas, con fauna de

ammonites y conocida como Formación Pariatambo; además, contiene pelecípodos y gasterópodos. El contacto superior de esta formación es gradacional. La intercalación de calizas y limolitas por ciertos tramos del perfil paralelamente y en otros de manera ondulada sugiere condiciones de mediana-alta energía a partir de la decantación de los distintos sedimentos en la cuenca.



Columna N° 1. Columna levantada de la Fm.Pariatambo, del flanco izquierdo del anticlinal del distrito La Encañada.

4.1.4.2.2. Flanco derecho del anticlinal

Litológicamente, consiste en una intercalación de calizas tipo mudstone hacia la base con limolitas calcáreas, en el miembro medio del perfil levantado hay presencia de algunas calizas nodulares que sigue gradando a limolitas bituminosas calcáreas de color negro poco fisibles al tacto, hacia el techo se tiene alternancia de estratos calizas y limolitas calcáreas poco efervescentes al ácido clorhídrico 20%, con un olor fétido a la reacción; calizas tipo mudstone intercaladas con limolitas grises de 0.05-0.15m de espesor para llegar al final del perfil estratigráfico con calizas packstone, las limolitas calcáreas desaparecen hacia el final de la columna.

Litofacies

Calizas mudstone

Calizas packstone

Calizas nodulares

Limolitas calcáreas



Foto N° 16. Una capa de limolitas calcáreas, en la cual se tiene calizas nodulares, calizas tipo mudstone por su ambiente de sedimentación (Ver en Anexos Figura N°25, pág.96).



Foto N° 17. Muestra de mano una caliza mudstone, con mínima cantidad de fósiles los cuales macroscópicamente no se diferencian a simple vista, desarrollada en ambiente de poco oxígeno.

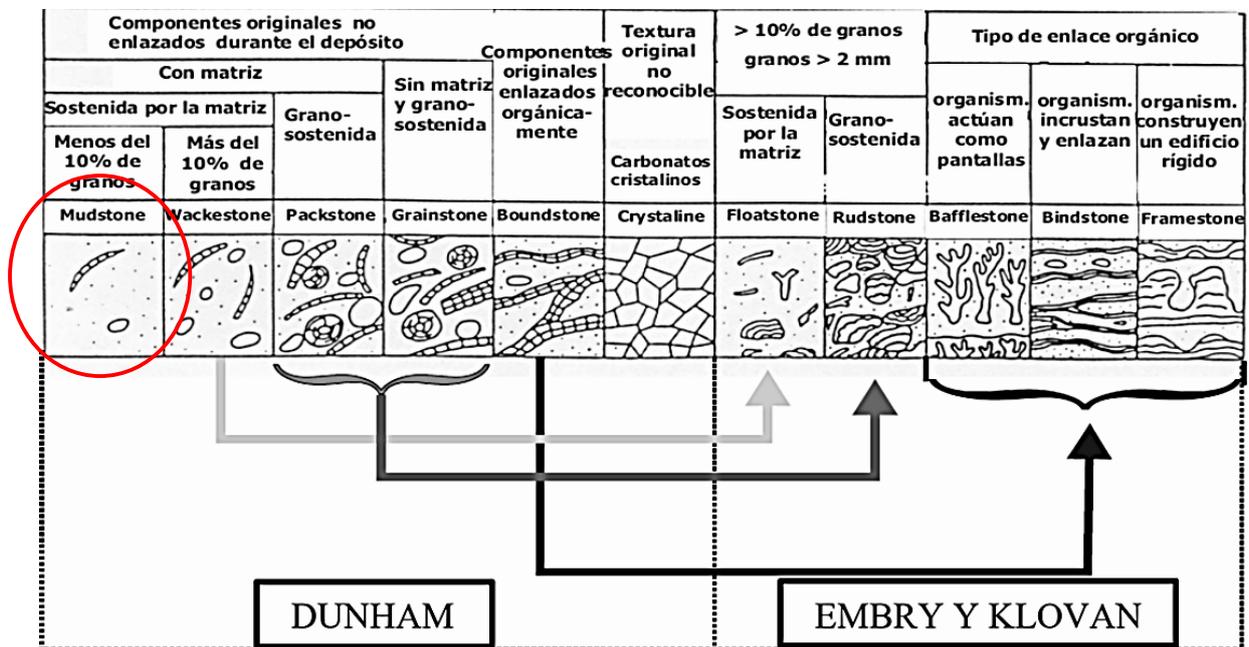


Figura N° 10. Clasificamos la muestra (Foto N°17), por su material y contenido como mudstone (Descripción macroscópica).

Biofacies

Presencia de gran cantidad de fósiles en las calizas del techo del perfil levantado que no son bien diferenciadas para determinar con exactitud todas sus características, la cual está concentrada en los estratos.

Estructura sedimentaria

Este afloramiento presenta en la base laminaciones onduladas y paralelas entre calizas bituminosas negras y limolitas calcáreas pardas por intemperismo, los estratos varían pasando la estructura afloramiento indiviso, presencia de calizas 0.10-0.15m de potencia intercaladas con limolitas calcáreas gris 0.05-0.10m de espesor, laminaciones onduladas para luego tener un afloramiento aproximado 15 a 20m de calizas marcadas por fragmentos ante la presencia de fallas y/o fluidos a altas temperaturas, la primera no se identifica en superficie dada la poca notoriedad de los estratos, y la segunda está fragmentando y craquelando a modo de brechas (sin matriz) las calizas con laminación paralela de la Formación Pariatambo, está presente otro afloramiento indiviso (tramo cubierto). La presencia de dos fallas inversas en el inicio de la continuación del perfil en las calizas mudstone negras intercaladas con las limolitas calcáreas muy fisibles color gris a negro con estructuras de carga (load casts) se presentan conforme avanza el perfil estratigráfico calizas de mediana potencia entre 0.10-0.20m y están interestratificados con capas delgadas de limolitas calcáreas grises 0.05-0.15m de espesor, laminaciones onduladas, paralelas y load casts dominan la parte superior de la Formación Pariatambo con calizas tipo packstone y una falla inversa que domina hacia el techo del perfil estratigráfico.

Este afloramiento litológicamente está formado por intercalaciones de calizas color pardo amarillenta por intemperismo, los espesores de los estratos varían en espesor entre 0.10 m a 1.30m y están interestratificados con capas delgadas de limolitas de entre 0.10m y 0.25m de espesor (Ver Columna N°2, pág.49).



Foto N° 18. Perfil esquemático en la Fm. Pariatambo flanco derecho del anticlinal ubicado en distrito La Encañada.

Falla Sinsedimentaria

Azimut: N315°

Buzamiento: 75NE

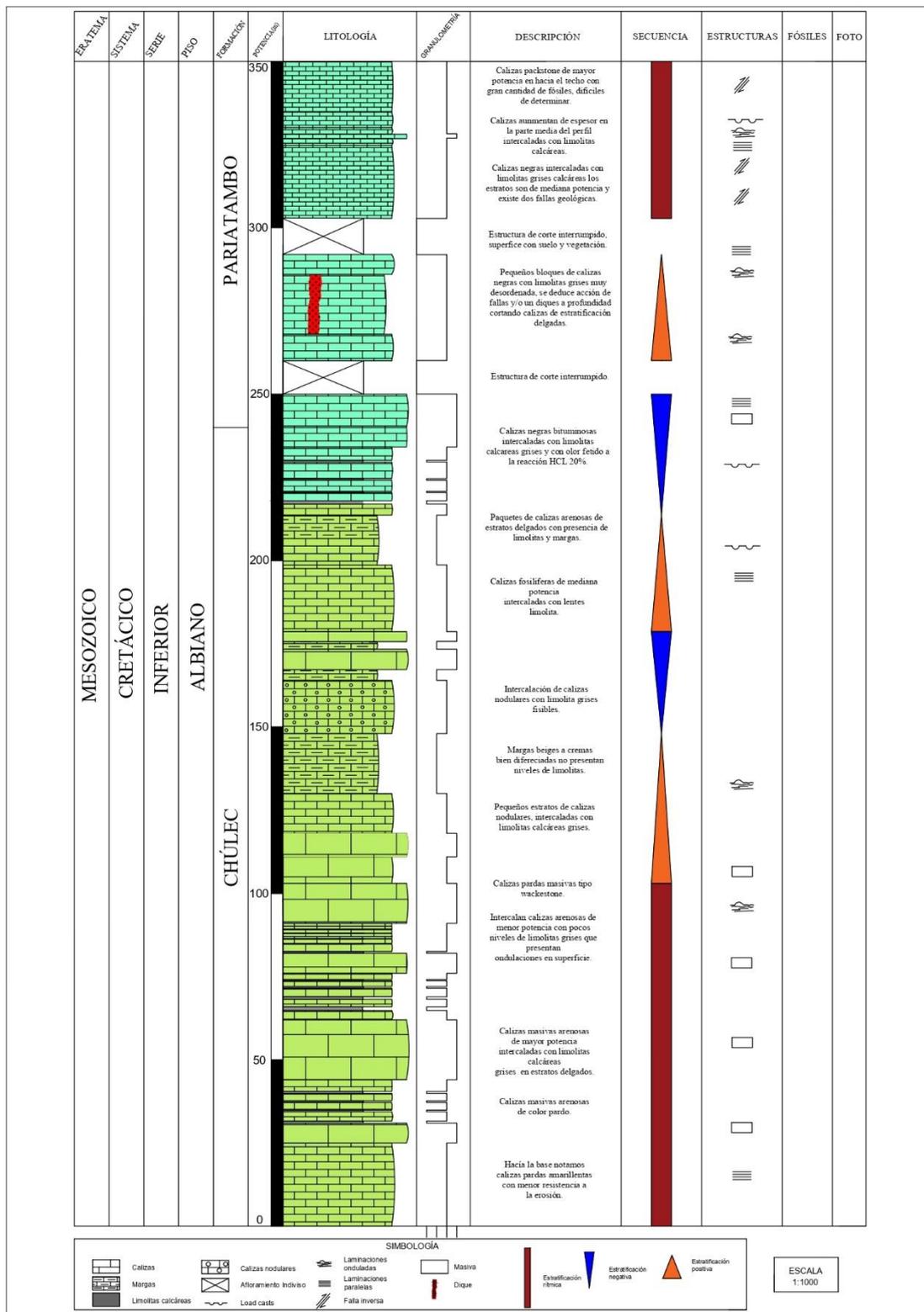
Nótese las megarizaduras de fondo en la intercalación de lutitas bituminosas y calizas pardas amarillentas por intemperismo ligeramente ondulada por compactación diferencial.



Foto N° 19. Megarizaduras de fondo, estratos de limolitas muy fisibles.

Ambiente de depositación

Por la presencia en la base del perfil de calizas estratificadas de manera paralela y poco ondulada, sugiero un ambiente somero de aguas poco profundas de poco oxígeno, poca energía al momento de la sedimentación, hacia el miembro medio se tiene un mar con agua más agitadas de mediana energía las cuales hacen que las calizas intercaladas con las limolitas tengan superficies onduladas y megarizaduras de fondo. Progresivamente hacia el techo estratos de calizas de mediana potencia que, en la base del perfil, depositados en aguas más calmadas de poca energía. Las fallas presentes hacia el techo del flanco derecho del anticlinal en la Formación Pariatambo evidencian fuerte geodinámica desarrollada en el Albiano.



Columna N° 2. Columna estratigráfica del flanco derecho del anticlinal distrito La Encañada, Formaciones Chúlec-Pariatambo.

4.1.5. GRUPO PUYLLUCANA

4.1.5.1. Formación Yumagual

Coordenadas: N: 9219509 E: 795327, Cota: 3428 m.s.n.m

Litológicamente, consiste en una alternancia de calizas packstone masivas hacia la base con limolitas calcáreas de pequeños espesores, conforme se levanta la columna estratigráfica se tiene una secuencia de calizas packstone masivas grises intercaladas con limolitas calcáreas y calizas potentes con textura deposicional no reconocible macroscópicamente las cuales no presenta niveles fosilíferos, algo que es muy característico en esta formación por presentar potentes estratos y su forma deposicional, se intercalan hacia el miembro medio niveles de margas las cuales son escasas con mayor presencia de calizas grises packstone intercaladas con limolitas pardas por intemperismo y hacia el miembro superior los niveles de arcillitas calcáreas disminuye así como también los niveles masivos de calizas packstone- wackestone las cuales son grises en su mayoría de la columna, existe una mínima cantidad de calizas tipo mudstone hacia la base del perfil y conforme se avanza aparecen algunos estratos que desaparecen hacia el techo.



Foto N° 20. Calizas masivas grises bastante fosilíferas (bioclastos fragmentados) con espesor de hasta 6m intercalados con pequeños lentes de limolitas.

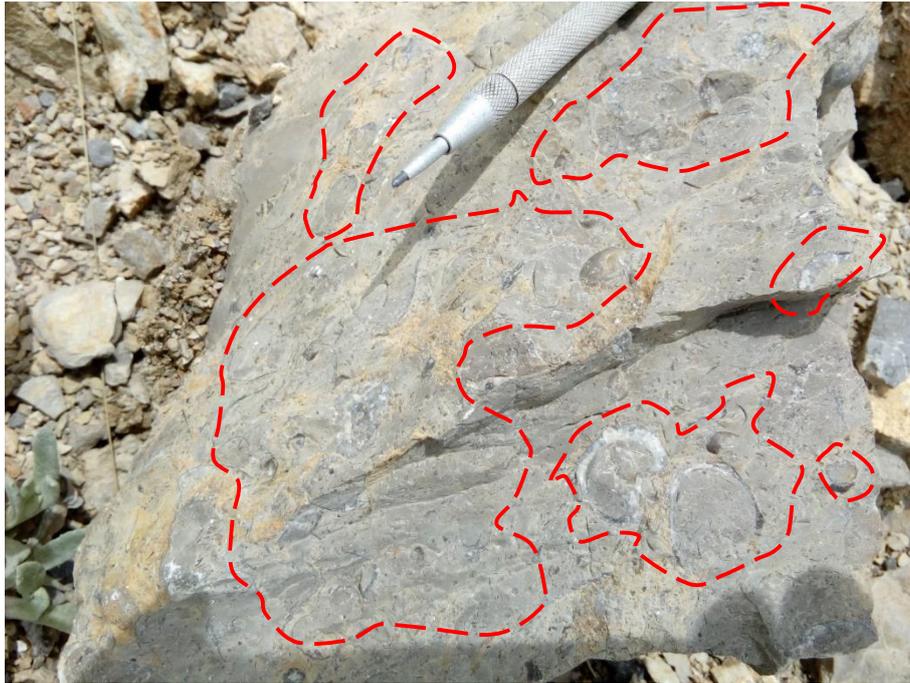


Foto N° 21. Calizas grises con bioclastos de fósiles poco reconocibles macroscópicamente, depositados en un ambiente de mucha energía ubicado en el distrito La Encañada.

Litofacies

Calizas packstone (Ver Foto N°21)

Componentes originales no enlazados durante el depósito			Componentes originales enlazados orgánicamente	Textura original no reconocible	> 10% de granos granos > 2 mm		Tipo de enlace orgánico			
Con matriz		Sin matriz y grano-sostenida			Sostenida por la matriz	Grano-sostenida	organism. actúan como pantallas	organism. incrustan y enlazan	organism. construyen un edificio rígido	
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos									Grano-sostenida
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline	Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone
DUNHAM			EMBRY Y KLOVAN							

Figura N° 11. . Clasificamos la muestra (Foto N°21), por su material y contenido de bioclastos en la matriz como packstone (Descripción macroscópica) (Ver Figura N°17, pág.70).

Calizas wackestone

Foto N° 22. Calizas wackestones pardas, grises con poco bioclastos (líneas rojas) de fósiles no muy diferenciables macroscópicamente, depositados en un ambiente de mediana energía (Ver Figura N°17, pág.70)



Limolitas calcáreas

Biofacies

Facies de gasterópodos (Ver Foto N°28, pág.67)

Facies de bivalvos

Facies de equinodermos (Ver Foto N°29, pág.67)

Estructura sedimentaria

En la base del perfil notamos la presencia de una falla normal, en calizas grises intercaladas con limolitas calcáreas que presentan una laminación paralela; los estratos son de gran espesor con alternancia de calizas gris parda con un promedio 13m, con escasa presencia de margas y limolitas, en una parte se presenta 1m de calizas mudstone nodulares intercaladas con limolitas calcáreas en laminaciones onduladas, en el miembro medio las calizas masivas grises llegan a medir hasta 6m de espesor que se intercalan con margas de 1m de espesor en laminación paralela. En el miembro superior de la Formación Yumagual las calizas presentan laminación paralela en toda su extensión disminuyendo considerablemente de espesor 1m.



Foto N° 23. Calizas packstone masivas de la Formación Yumagual intercaladas con limolitas calcáreas.

Ambiente de depositación

Última del Cretácico Superior se dio la transgresión marina, las calizas de textura packstone-wackestone con bioclastos desgastados y fragmentados sugieren una inversión textural; las partículas dominantes de alta energía han descendido por pendientes locales a emplazamientos de baja energía. Desarrollada en un ambiente nerítico exterior (plataforma marina abierta) y hasta pelágico por encontrar gasterópodos, equinodermos (Ver Foto N°28 y29, pág.67).

AMBIENTES MARINOS

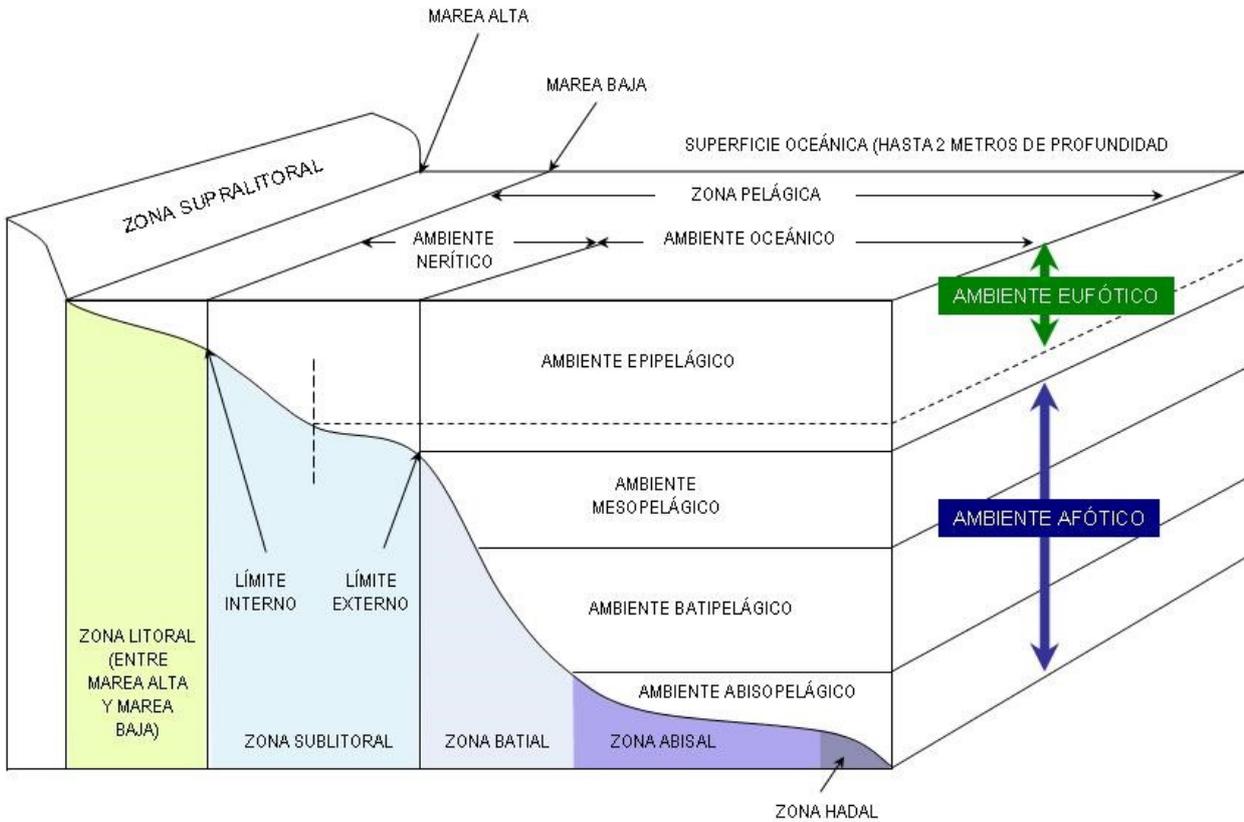
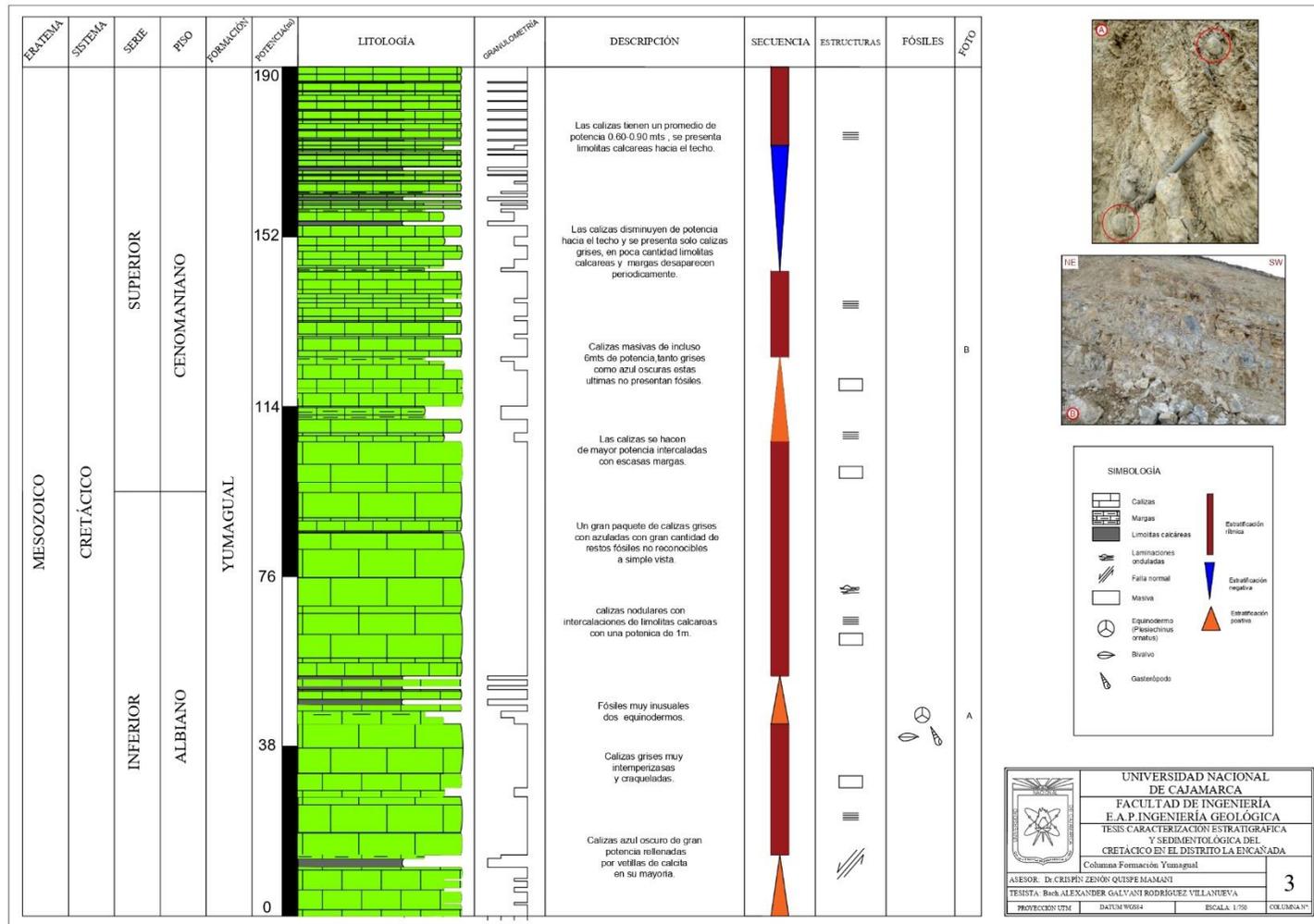


Figura N° 12. Representación que muestra como la Formación Yumagual se depositó en un ambiente nerítico de marea baja (Fuente: Nasif y Nahle, 2008).



Columna N° 3. Columna estratigráfica de la Formación Yumagual.

4.2. INTERPRETACIÓN

4.2.1. Cretácico Inferior

Durante el Cretácico Inferior a nivel de la margen se tiene el registro de dos ciclos transgresivos que van del Valanginiano Inferior al Aptiano Tardío y el segundo del Albiano temprano al Albiano Medio. (Arche,2010).

Transgresión del Cretácico Inferior

Durante el intervalo de tiempo que va del Valanginiano Inferior al Aptiano Temprano, la margen occidental peruana recibió depósitos siliciclásticos de tipo deltaico, de proveniencia oriental, denominados: Grupo Goyllarisquizga, Grupo Oriente, según los lugares (Wilson, 1963; Mégard, 1978; Soto, 1979; Moulin, 1989); esta depositación de importantes aportes silicoclásticos refleja un cambio nítido de las fuentes detríticas y posiblemente un evento tectónico a escala regional.

facies	subfacies	columna	estructura interna	% de arena	espesor (cm)	procesos sedimentarios y observaciones
S ARENISCAS	S _a estratificación cruzada		estratificación cruzada tabular o en surco	100%	20-200	migración de megaripples de crestas rectas o sinuosas
	S _b laminación paralela		laminación paralela o cruzada de bajo ángulo		variable	laminación de alta energía debida a olas o corrientes
	S _c laminación cruzada		laminación cruzada	90%	1-5	migración de ripples de corriente, de oscilación o de una combinación de ambos
H HEEROLÍTICAS	H _a arena dominante		laminación paralela	75%	5-20 máx. 200	la arena se deposita como carga de fondo y desde la suspensión durante los temporales y sufre un retrabajado por ripples de corriente y de oscilación la arena puede contener restos de conchas removilizadas frecuente amalgamación de capas areniscosas bioturbación más abundante en las intercalaciones lutíticas
			laminación paralela y cruzada		5-20 máx. 200	
			laminación paralela y cruzada en surco		5-20 máx. 50	
			sets aislados de estratificación cruzada tabular		5-20 máx. 50	
			laminación flaser en arena		1-5	
	H _b alternancias de arena y lutita		laminación paralela	50%	1-10	esencialmente, areniscas con laminación cruzada de ripples de corriente, de oscilación o de una combinación de ambos y, en menor proporción, laminación paralela; la parte alta de los niveles de arenisca esta bioturbada estas son las facies de tormenta y las intercalaciones de lutitas representan las condiciones de buen tiempo
			de laminación paralela a laminación cruzada		1-10	
			laminación cruzada de bajo ángulo		1-10	
			laminación flaser y ondulada		1-3	
	H _c lutita dominante		laminación paralela	10%	1-5	laminación lenticular formada, por olas o corrientes en un fondo con poca arena algunas capas delgadas de areniscas laminadas depositadas desde la suspensión durante las tormentas las intercalaciones de lutita indican condiciones de buen tiempo: depósito desde la suspensión, intensa bioturbación
		laminación paralela y cruzada	1-5			
		laminación lenticular	1-3			
M LUTITAS	M _a		arañas granoclasificadas y capas ricas en conchas		0.1-2	lutitas con alguna capa delgada de arenisca depósito desde la suspensión olas y corrientes sólo actúan durante las grandes tormentas intensa bioturbación y fauna bentónica más o menos in situ
	M _b		lutitas	0%	< 0.5	

Figura N° 13. Principales litofacies depositadas en ambientes someros siliciclásticos. Modificado de (Johnson, 1978 y Boersma, 1975) (Arche,2010).

- La facies de areniscas (S, de sandstone) indica las condiciones ambientales de mayor energía del fluido; la movilidad del substrato impide que lo colonicen muchos organismos, de manera que se encuentran pocos restos orgánicos y pistas fósiles. Son, pues, litofacies de arenas amalgamadas con mucho retrabajado (condensadas) y superficies erosivas. Se pueden diferenciar tres subfacies, según la estructura interna sea estratificación sesgada (S_a), laminación paralela (S_b) o laminación cruzada (S_c).
- La facies heterolítica (H) incluye las alternancias de arena y limolita. Según la proporción de una y otra se distinguen tres subfacies (H_a , H_b y H_c) que, en principio, registran variaciones periódicas de las condiciones hidrodinámicas y del aporte sedimentario. En el muro de las capas de arenisca suelen encontrarse restos transportados de vegetales. La bioturbación aumenta hacia el techo de las capas, coincidiendo con la colonización del fondo en las épocas de buen tiempo.
- La facies limolítica (M, de mudstone) consiste esencialmente en arcillas laminadas o bioturbadas. Según aparezcan, o no, intercalaciones de material más grueso, fosilífero o bioclástico se diferencian dos subfacies (M_a y M_b). Corresponde a condiciones de energía baja en zonas situadas por debajo del nivel de base del oleaje, pero para precisar más la interpretación hay que estudiar las comunidades bentónicas.

A partir del Albiano basal, la sedimentación cambia de siliciclástica (fluvio-deltaica) a carbonatada (marina), lo que probablemente se relacione a la subida del nivel del mar en el Aptiano Superior (Haq et al, 1987); conformando la gran secuencia del Albiano-Turoniano al Campaniano que pertenece a una gran plataforma carbonatada epicontinental (Formaciones Pariahuanca-Inca, Chúlec, Pariatambo, Jumasha, Chonta y equivalentes) donde se notan varios ciclos sedimentarios sobre toda la margen de los andes del Perú central y norte durante el Cretácico, los que han sido ampliamente tratados por Romaní (1982), Jaillard (1985, 1986 y 1987) y Robert (2001).

La transgresión del Albiano Basal-Albiano Medio

Las secuencias del Albiano Inferior (Formaciones Inca y Pariahuanca del Albiano Inferior), están constituidas de areniscas, margas y calizas, cuya evolución vertical expresa una transgresión desde medios costaneros a medios de plataforma abierta (foreshore) y más profunda hasta talud (offshore).

Estructuras de tectónica sinsedimentaria y la aparición de volcanismo están relacionados a una actividad tectónica en extensión en toda la Cuenca Occidental (Jaillard, 1987; Soler, 1989). Esta secuencia de transgresión está sobreyacida por una secuencia monótona de margas y calizas margosas, con abundante fauna de mar abierto (Formación Chúlec, Albiano), que representan el máximo de la transgresión Albiano.



Foto N° 24. Calizas tipo mudstone color beige por intemperismo característicos de la Formación Chúlec en estratos potentes.

4.2.1.1. Calizas Negras

Interpretación y asociación con las calizas negras de la Formación Las Tienditas (Ediacarano-Cámbrico inferior) en el Noroeste Argentino

El color oscuro de las calizas de la Formación Las Tienditas puede ser atribuido a la presencia de abundante calcita microcristalina (micrita) y también al contenido de materia orgánica. Es sabido que la micrita puede tener un origen biogénico y formarse de la desintegración de algas calcáreas, o bien un origen inorgánico por precipitación de fango carbonático (Tucker, 1991). Teniendo en cuenta que se ha mencionado para las calizas de la Formación Puncoviscana s.l., la presencia de tapetes algales (Baldis y Omarini, 1984) se podría inferir para las micritas de la Formación Las Tienditas un origen orgánico. No obstante, no debe descartarse la posibilidad de un origen inorgánico para las mismas.

Una alta productividad cianobacterial tiene lugar en zonas de upwelling y es allí donde se pueden desarrollar calizas oscuras como las observadas en el perfil de Las Tienditas. Esto ocurre principalmente en latitudes media y alta, donde los patrones climáticos son marcadamente estacionales, al igual que la circulación oceánica y los procesos biológicos. Sin embargo, se ha estimado que ciertos factores globales, como los asociados a períodos de deglaciación, han influenciado las corrientes de upwelling. Estas corrientes aportan abundantes nutrientes a las aguas de superficie, generando ciclos de florecimiento cianobacterial. La superproducción orgánica influye marcadamente en el contenido de oxígeno disuelto en el agua, el cual sufre una importante disminución. De esta manera, podemos establecer que las calizas negras, ricas en carbono orgánico de la Formación Las Tienditas, documentan condiciones oceanográficas únicas caracterizadas por aguas oceánicas relativamente pobres en oxígeno.

Formación Pariatambo en el Perú

La Formación Pariatambo (80 a 200m. Albiano Medio-base del Albiano Superior) está representada por calizas negras, bituminosas y laminadas, ricas en ammonites, indicando un medio euxínico de plataforma de regular profundidad. Localmente, las facies anaeróbicas desaparecen (Benavides, 1956; Wilson, 1963; Janjou, 1981; Janjou et al., 1981) y en la faja costanera, laminaciones algáreas indican un medio de depositación intermareico en la parte superior de la formación. Esta formación representa en el Perú el evento anóxico del Albiano (Schlanger y Jenkyns, 1976; Jenkyns, 1980).



Foto N° 25. Calizas oscuras en Formación Pariatambo intercaladas con limolitas calcáreas de olor fétido a reacción HCL y golpe de picota, en estratificación paralela.

Calizas negras y bituminosas ricas en faunas de ammonites y peces indicando un medio euxínico de plataforma confinada de profundidad media a fuerte (Formaciones Pariatambo. Escasas coladas volcánicas asociadas indican una extensión intracontinental contemporánea (Soler, 1989). En gran parte del Perú, estos depósitos evolucionan hacia ambientes más someros, hasta intertidales.

4.2.1.2. Plataformas limolitas pobres en oxígeno

Las plataformas pueden sufrir eventos anóxicos de duración variable cuando llega hasta ellas una masa de agua pobre en oxígeno, cualquiera que sea la composición del resto de la columna de agua. En estas condiciones la materia orgánica no se oxida y se depositan arcillas negras a las que se asocian sustancias de interés económico, en particular uranio. Las aguas connatas expulsadas de los sedimentos finos durante la compactación arrastran las sustancias disueltas y los hidrocarburos hacia zonas permeables en las que la presión confinante es menor y las mineralizan. Estos fluidos mineralizadores se han confundido en muchos casos con emanaciones hidrotermales o con procesos vulcano-sedimentarios cuando son, en realidad, el resultado de un proceso diagenético.

Morris (1977) distingue tres facies según las condiciones ambientales: marina normal, restringida y bituminosa. En todas ellas hay fauna nectónica y planctónica, pero la fauna bentónica y, en su caso, los taxones que puedan aparecer dependerán de que el fondo quede bajo condiciones oxidantes o reductoras.

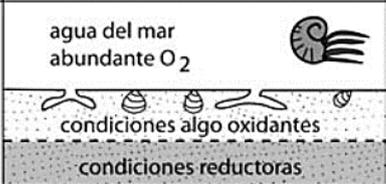
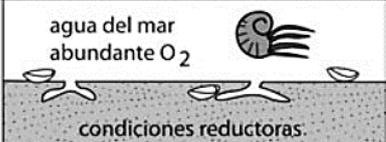
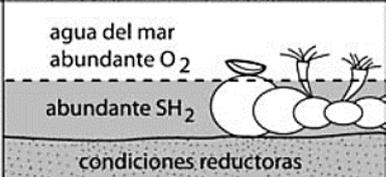
facies	grupos de bivalvos	pistas fósiles	foraminíferos bentónicos	concreciones	interpretación ambiental
arcilla	epifauna e infauna comedora de alimento en suspensión infauna comedora de sedimento	bioturbación horizontal	abundantes	siderita y carbonato	
arcilla "restringida"	domina la infauna comedora de sedimento	bioturbación horizontal escasa	escasos	carbonato	
arcilla bituminosa	domina la epifauna comedora de sedimento en suspensión	no hay	no hay	pirita y carbonato	

Figura N° 14. Clasificación y criterios de reconocimiento de las facies arcillosas. Modificado de (Morris, 1977).

Facies marina normal: arcillas, limolitas o margas con epifauna comedora de suspensión e infauna comedora de sedimento de suspensión. Esta biota bentónica bioturba el sedimento.

Facies restringida: pobre en organismos, con infauna de comedores de sedimento y alguna epifauna especializada en la superficie.

Facies bituminosa: contiene pocos bentónicos, salvo algunos grupos especializados que suelen fijarse sobre un substrato que les permita elevarse sobre la zona reductora con SH₂ libre. Es una buena roca madre de hidrocarburos.

4.2.1.3. Calizas masivas

La Formación Pariatambo yace concordantemente sobre la Formación Chúlec e infrayace, con suave discordancia a la Formación Yumagual; relación observable en la cuenca de Puyllucana, en la carretera Cajamarca-La Encañada, al este de los Baños del Inca. En el sector oriental se hace algo masiva y cambia lateralmente a la facies del valle del Marañón (Boletín N°31).

Describiendo lo encontrado en el sector noreste de La Encañada afloran estratos de calizas bituminosas masivas (4-7 metros de espesor) de coloraciones pardas, negras incluso azuladas intercaladas con limolitas negras (1-3 metros de espesor), lo cual le confiere unas características litoestratigraficas relevantes para la Formación Pariatambo de estructuras masivas hacia esa zona en específico del área de estudio a diferencia las columnas levantadas cerca de La Encañada en los dos flancos del anticlinal los cuales no presentan el mismo espesor y tampoco se evidencian niveles de limolitas negras de este espesor.



Foto N° 26. Estratos masivos de calizas pardas por intemperismo en la Formación Pariatambo sector NW de La Encañada intercalada con limolitas negras. Coordenadas: N: 9219571; E: 796345; cota: 3449 m.s.n.m.

4.2.2. Cretácico Superior

Al Cretácico Superior a nivel de la margen se tiene el registro de dos ciclos de regresivos, la regresión del Albiano Superior-Cenomaniano Medio y regresión del Santoniano-Campaniano, conjuntamente con los ciclos de transgresivo del Cenomaniano Medio-Superior y del Coniaciano (Jacay,2005).

En todo el Perú (Albiano Superior-Cenomaniano Inferior), sucede una segunda secuencia regresiva de plataforma carbonatada (Formación Yumagual en el Norte), que remata en

depósitos inter- a supratidales localmente arenosos, expresando así una regresión mayor. La secuencia se caracteriza por la abundancia de fenómenos tectónicos sinsedimentarios, incluyendo fallas normales (Norte del Perú).

4.2.2.1. La regresión del Albiano Superior-Cenomaniano Medio

Una regresión se inicia en el norte del Perú con la Formación Yumagual (Albiano Superior Cenomaniano Inferior). Son facies de plataforma abierta que pasan a facies de plataforma interna somera (Jacay,2005).

4.2.3. Paleontología

Los diferentes fósiles encontrados de las formaciones estudiadas en el distrito La Encañada permiten identificar sus paleoambientes de formación los cuales varían desde mares cálidos de poca profundidad como lo es la *Exogyra trigeri* (Formación Chúlec).

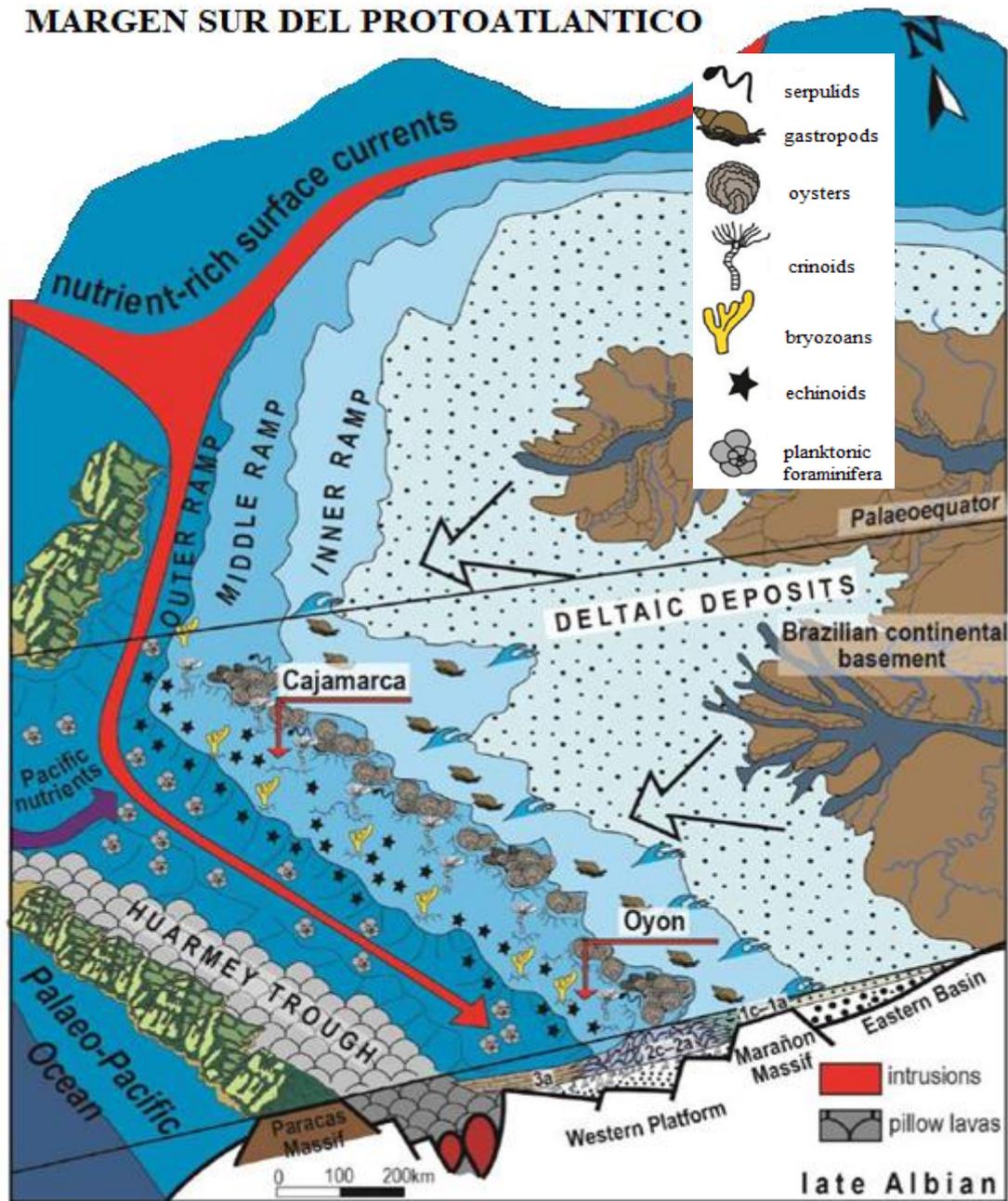


Figura N° 15. Impacto de los cambios climáticos en la fábrica de carbonato epicontinental -nerítico (Navarro,2015).

Turritella infracarinata animales endobentónicos que vivieron enterrados parcialmente en fondos marinos, preferentemente arenosos y fangosos, relativamente profundos.

La fauna de gasterópodos del Cretácico Inferior marino sudamericano es muy variada, especialmente en Naticidae, *Turritellidae*, Aporrhaidae y Nerineidae. Esta última familia, que incluye al género *Nerinea*, se habría extendido por gran parte del continente, persistiendo en el Albiano de Colombia y en el Senoniano brasileño, donde sus acumulaciones forman bancos calcáreos; los Naticidae incluyen a grandes ejemplares de *Tylostoma*. El **Albiano** de Sergipe (Brasil) lleva especies de los géneros *Cerithium*, *Epitonium*, *Paraglauconia*, *Nerinella*, *Turritella*, *Tylostoma*, *Cypraea*, etc. y en **Perú**, estratos de igual edad, contienen *Petropoma*, *Turbo*, *Gyrodès*, *Helcion* y *Turritella*.

Faunas marinas supracretácicas se conocen principalmente en **Perú**, Chile y Argentina. De la región de **Paita (Perú)**, Olsson (1944) describió una fauna del Senoniano Superior que se destaca por la cantidad de nuevos géneros. Los gasterópodos constituyen un elemento importante de la misma, en la que se reconocen integrantes de las superfamilias Neritoidea (*Nerita*), Cerithioidea (*Turritella*, *Woodsalia*, *Glauconia* y nuevos géneros de Potamididae y Cerithiidae), Stromboidea, Naticoidea, Muricoidea (*Buccinidae* y *Volutidae*). (Camacho, 2007).

La Formación Pariatambo se caracteriza por ser fósil, color negro, bituminosas, calizas fértidas, e incluye laminación. Ammonites y foraminíferos planctónicos (referencial) son comunes, evidenciando el *Oxytropidoceras carbunarium* y *Prolyelliceras ulrichi* zonas asignadas a una edad Albiana media (Robert et al., 2009).

Oxytropidoceras carbunarium permite entender que estos fósiles vivían en un promedio de 50 y 100m de profundidad llegando incluso a vivir profundidades superiores a los 700m, permitiendo interpretar que las calizas de esta última en La Encañada se formaron en mar relativamente profundo.



Foto N° 27. Cara frontal del oxytropidoceras presente en la columna levantada del flanco izquierdo del anticlinal de la Formación Pariatambo (muestra no muy bien conservada) (Ver representado en Columna N°1, pág.43).

La Formación Yumagual que contiene pocos ammonites. La bioestratigrafía de bivalva sitúa a la Formación Yumagual dentro de las zonas de *Ostrea scyphax* y *Exogyra mermeli*, indicando una edad Albiano- Medio temprano Cenomaniano (Benavides-Cáceres, 1956).

La presencia de gasterópodos de origen marino en la Formación Yumagual nos permite percibir que los estratos masivos se formaron relativamente en un ambiente marino de profundidad somera a moderada y algo que llama la atención notoriamente es la presencia de equinodermos *Plesiechinus ornatus*, se le asigna al Jurásico Temprano (Pliensbachiano) hasta Jurásico Medio (Bajociano), Europa. (Buckman, in Murchison, 1845). Estos últimos viven enterrados o semienterrados en los fondos marinos.

Los más antiguos equinoideos son del Silúrico inferior, que perduran, con poca abundancia de géneros y especies, hasta el final del Paleozoico. A partir del comienzo de la era Mesozoica surgen formas nuevas, algunas de las cuales se pueden suponer derivadas de las del Paleozoico. El nuevo grupo evoluciona muy pronto, y presenta grupos y especies de muchísimo interés estratigráfico. Al final de la era Mesozoica, en el Cretácico, aparecen los erizos llamados irregulares, que durante el Paleógeno adquieren su máximo desarrollo, estas formas llegan a los mares actuales.

La secuencia gris y de laminaciones tidales indica una depositación en un medio muy somero. Sin embargo, la presencia de bivalvos y gasterópodos, así como el color más claro sugieren un medio marino ligeramente más abierto (Jaillard et al,1991).



Foto N° 28. Gasterópodos en lentes de limolitas calcáreas de la Formación Yumagual.



Foto N° 29. *Plesiechinus ornatus* en niveles de limolitas de la Formación Yumagual, 2.5cm diámetro, con aspecto nebuloso y punteado. Coordenadas: N: 9219508; E: 795275; cota: 3416 m.s.n.m.

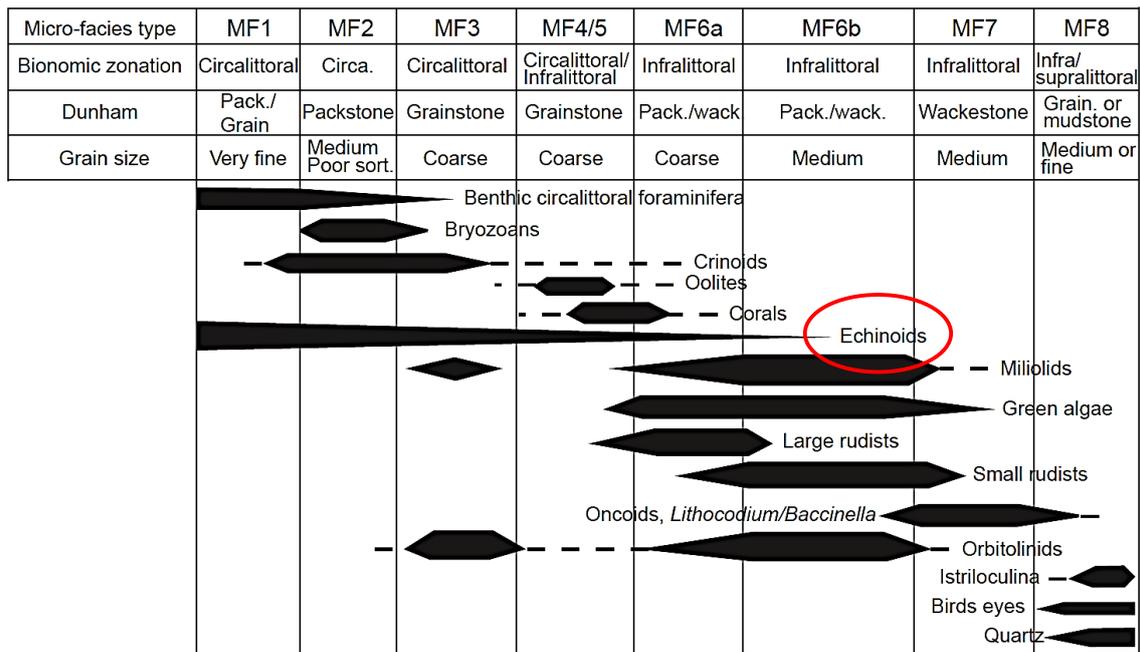


Figura N° 16. Fósiles en las calizas y su distribución espacial (Stein et al,2010).

4.2.4. Paleoambiental

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. Esta clasificación es de fácil utilización en el terreno, tienen connotaciones en cuanto a indicación de energía en medio sedimentario; grainstone: sedimentos muy lavados, mudstone: sedimentos propios de aguas no agitadas.

Las diferentes formaciones estudiadas presentan en su mayoría calizas tipo mudstone que se interpreta que las calizas de La Encañada se depositaron en aguas poco agitadas, las calizas masivas dan cuenta de ellos presentes en la Formación Chúlec. La Formación Yumagual presenta calizas masivas y por no menos la más importante las calizas masivas de la Formación Pariatambo al noreste de La Encañada que sugieren depositación en mar de aguas de mediana energía a alta dadas su desarrollo en potentes estratos.

Fósiles bivalvos encontrados del miembro medio a superior de la Formación Pariatambo en algunos pequeños afloramientos al norte de La Encañada hacia la parte superior de la carretera que conduce a Celendín, ocurre un cambio de paleoambiente, de un ambiente euxínico y reductor a uno más oxidante por lo cual encontramos calizas con colores mucho más claros, desarrollados en climas templado-cálido.

Los restos fósiles más fiables desde el punto de vista de la diagnosis ambiental son los de invertebrados, porque suelen estar estrechamente condicionados por la salinidad y sus oscilaciones. La mayoría de los corales, cefalópodos, braquiópodos, equinodermos, briozoos y algunos foraminíferos calcáreos son estenohalinos, es decir, sólo pueden vivir en condiciones de salinidad marina normal. Por contra, muchos de los gasterópodos, bivalvos y ostrácodos son eurihalinos, o sea, capaces de adaptarse a rangos de salinidad más amplios. Más difícil de establecer es la profundidad del agua: la mayoría de los organismos proporcionan únicamente una idea muy vaga de ella y, para obtener algún resultado, deben estudiarse aquellos que tengan alguna dependencia, por ejemplo, de la luz solar para realizar la fotosíntesis (Arche,2010).

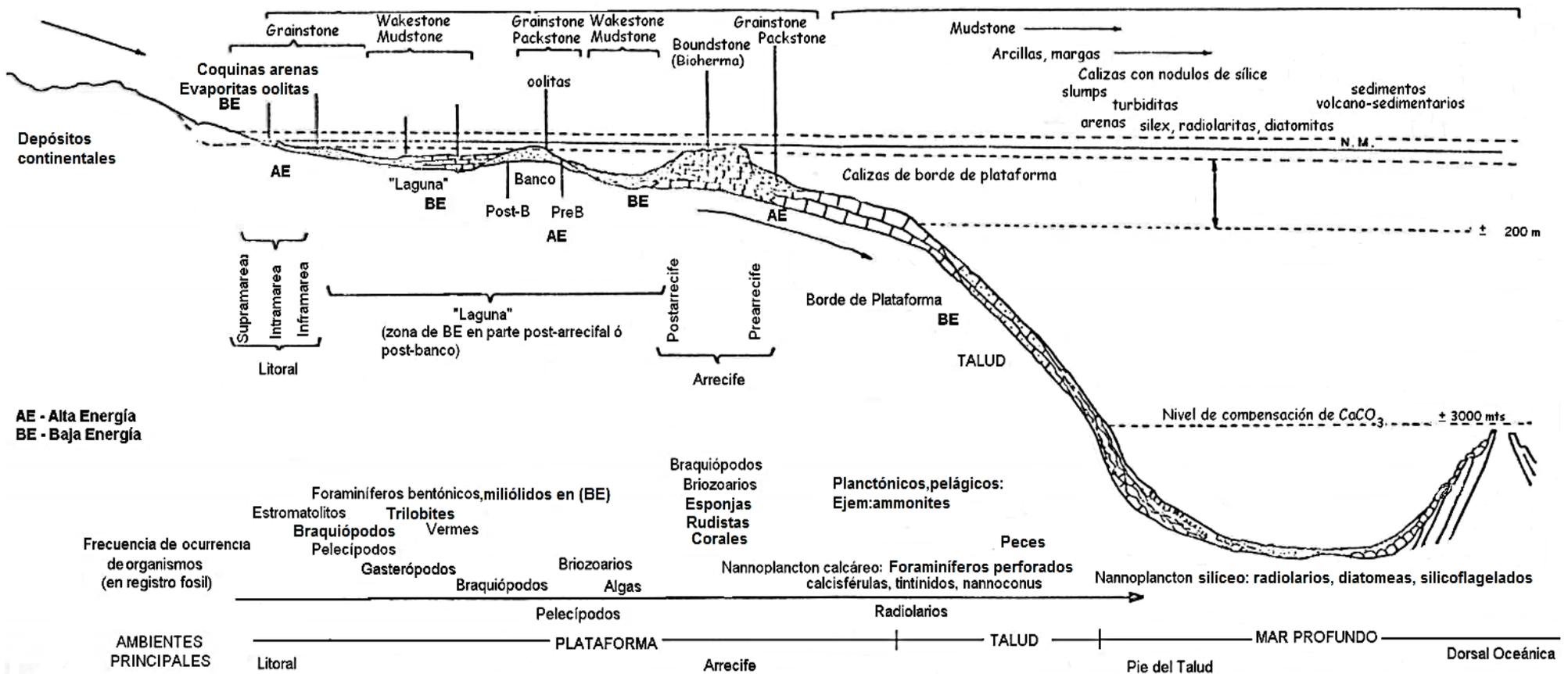


Figura N° 17. Características petrográficas de la roca primaria y su ambiente de formación en rocas carbonatadas (Ruíz, 2015).

4.2.5. Depositación de sedimentos

La cantidad de producción orgánica de carbonato depende de muchos factores, aunque los dos más importantes vienen determinados por el clima y son: la temperatura, que lógicamente está relacionada directamente con la actividad solar, y los aportes de nutrientes, que se relacionan con la circulación de corrientes oceánicas ascendentes y con los aportes de los ríos.

La temperatura, como factor claramente más importante, se combina además con otras variables, tales como: salinidad, balance de CO_2 , profundidad del agua, modelo local de corrientes, penetración de la luz, longitud efectiva del día, naturaleza del substrato, turbidez del agua. Lees (1975) llegó a la conclusión de que, junto a la temperatura, es la salinidad la otra variable más importante, y en 1972, junto con Buller, observó la existencia a nivel mundial y siempre en ambientes someros (menos de 100m de profundidad), de dos asociaciones fundamentales dentro de los granos esqueléticos en función de la temperatura.

La tectónica andina propiamente dicha, es decir la tectónica en compresión se manifestó a partir del Cretácico (Audebaud, 1971; Dalmayrac et al., 1980; Frutos, 1981; Bussel & Pitcher, 1985; Jarrad, 1986; Soler & Bonhomme, 1990; Jaillard & Soler, 1996).

El establecimiento de la tectónica compresiva andina, se debe a los cambios de velocidad y de dirección de convergencia de las placas subductadas bajo la placa sudamericana, y por la abertura del Atlántico sur. Estos eventos se caracterizan por largos periodos de inestabilidad tectónica y episodios cortos de quietud (Noblet et al., 1996), desde el Albiano-Cenomaniano (dominio andino) y Turoniano (dominio subandino). La compresión se desarrolla de manera continua hasta el Holoceno. Esta deformación se desarrolló con diferentes intensidades y con un probable control de la paleogeografía pre-Cretácica (Gil, 2002).

Algunos modelos ayudan a determinar procesos de depositación de los distintos sedimentos los cuales contribuyen a interpretar no de manera detallada, pero si expone las diferentes facies en un modelo antiguo, dado que no existe actualmente plataformas como las que existieron en el Paleozoico y Mesozoico con los que se pueda relacionar.

4.2.5.1. Geometría de las cuencas de antepaís

Las cuencas de antepaís se desarrollan sobre una litosfera continental (Dickinson, 1974), están ligadas a cadenas de subducción o a cadenas de colisión (Beaumont, 1981; Allen et al., 1986). Una cuenca de antepaís se desarrolla entre un frente de una cadena de montañas y un cratón estable que se encuentra sometida a una flexión de la litosfera. DeCelles & Giles (1996) diferencian dentro de una cuenca de antepaís cuatro zonas de depósito: wedge-top, foredeep, forebulge y back-bulge depozones.

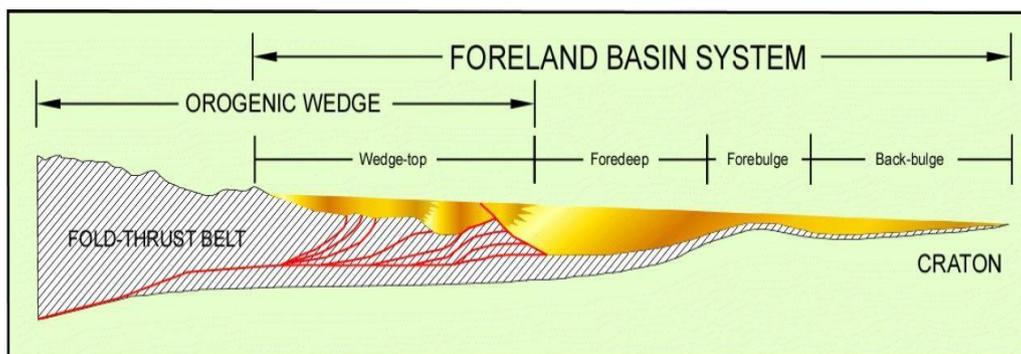


Figura N° 18. Representación esquemática morfo-estructural de las zonas de depósitos en una cuenca de antepaís (DeCelles & Giles, 1996).

- Zona de depósito en acuñaamiento ó corrimientos (wedge-top). - Es donde la deformación se amortigua, es decir es la margen activa de la cuenca de antepaís en que se desarrollan estructuras, corrimientos (conocidos como faja plegada y corrida donde se producen los cabalgamientos y duplex) y cuencas transportadas (piggyback basin). En dominio continental, presenta depósitos gruesos (conos aluviales y sistemas fluviales), y en dominio submarino sedimentos más finos carbonatados interferidos con depósitos gravitatorios o turbidíticos (sedimentación catastrófica) (Gil, 2002).
- Zona de depósito en profundidad (foredeep). - Corresponde a una cuenca subsidente situada entre el wedge-top y el forebulge, y forma un prisma sedimentario que se adelgaza en dirección al cratón. Es la zona que recibe mayor acumulación de sedimentos que provienen de la erosión en la cadena de montañas. En esta zona, se desarrollan los ambientes fluviales, aluviales en medio sub-aéreo, y de complejos fluvio-deltaicos superpuestos de los conjuntos turbidíticos en ambiente marino.
- Zona de depósito en el abombamiento (forebulge). - Situada sobre el bombeo periférico debido a la flexura de la placa, esta zona positiva difícil de identificar se encuentra sometida a erosiones.

- Zona de depósito atrás del abombamiento (back-bulge). - Se desarrolla entre el forebulge y el cratón estable y se caracteriza por presentar sedimentos finos de dominio continental y/o marino poco profundo (plataforma carbonatada). Pueden existir aportes sedimentarios más gruesos provenientes de la erosión del forebulge.

4.2.6. Configuración tectónica y estratigráfica regional del Cretácico

Durante el Cretácico Medio, la cuenca Andina fue situada en el cinturón húmedo subecuatorial del hemisferio sur (Hay y Floegel, 2012) y separada del Océano Pacífico por un arco volcánico que se extiende unos 10.000km desde América del Sur a la arista norte de Escocia en el Atlántico Sur (Larson y Pitman, 1972; Atherton y Aguirre, 1992). Debido a una transgresión a largo plazo durante el Albiano (Pindell y Tabbutt, 1995; Robert, 2002), grandes porciones de la cuenca Andina fueron inundándose y una sedimentación mixta carbonato – siliciclástica se acentuó sobre las unidades siliciclásticas del Cretácico Inferior. Fue controlado por estructuras tendencia NNW-SSE (Figuras 17 y 18). El Macizo de Paracas, formado por el sótano continental precámbrico, limita la parte occidental de la Cuenca volcánica Albiano de Huarmey (Soler y Bonhomme, 1990). Más al este, el Albiano la depresión de Huarmey evolucionó hacia una cuenca volcánica marginal abortada caracterizada por la deposición de lavas de almohada basáltica del Grupo Casma (Atherton y Webb, 1989). La actividad volcánica en la Cuenca Andina estuvo directamente relacionada a la desintegración del arco de Gondwana, culminando con la apertura del Océano Atlántico Sur (Torsvik et al., 2009, Moulin et al., 2010; Winter et al., 2010) y el emplazamiento del Batolito costero en la Cuenca de Huarmey en el Cretácico Superior (Soler y Bonhomme, 1990). En la parte media de la Cuenca Andina, la Plataforma Occidental se caracterizó como una cuenca de arco posterior, desarrollada sobre una extensión tectónica margen y activado durante los tiempos jurásico-cretáceo (Jaillard, 1987). Hacia el sureste, la Plataforma Occidental fue anexada a el macizo de Marañón, un macizo generalmente sumergido localmente también emergió, separando la Plataforma Occidental y la Cuenca Oriental (Benavides y Caceres, 1956). La Cuenca Oriental estaba unida al este por el escudo brasileño y comprende depósitos deltaicos de grano grueso.

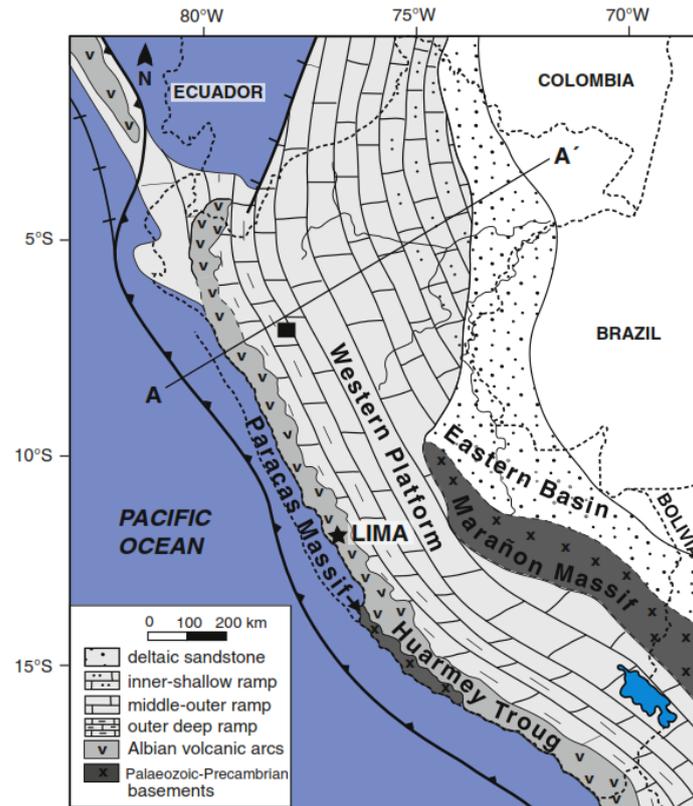


Figura N° 19. Mapa paleogeográfico del Cretácico Medio del Perú (basado en Pindell y Tabbutt, 1995; Robert y Bulot, 2004). El pequeño cuadrado negro indica Cajamarca en la Plataforma Occidental. A-A' indica la posición del transecto (Navarro et al,2015).

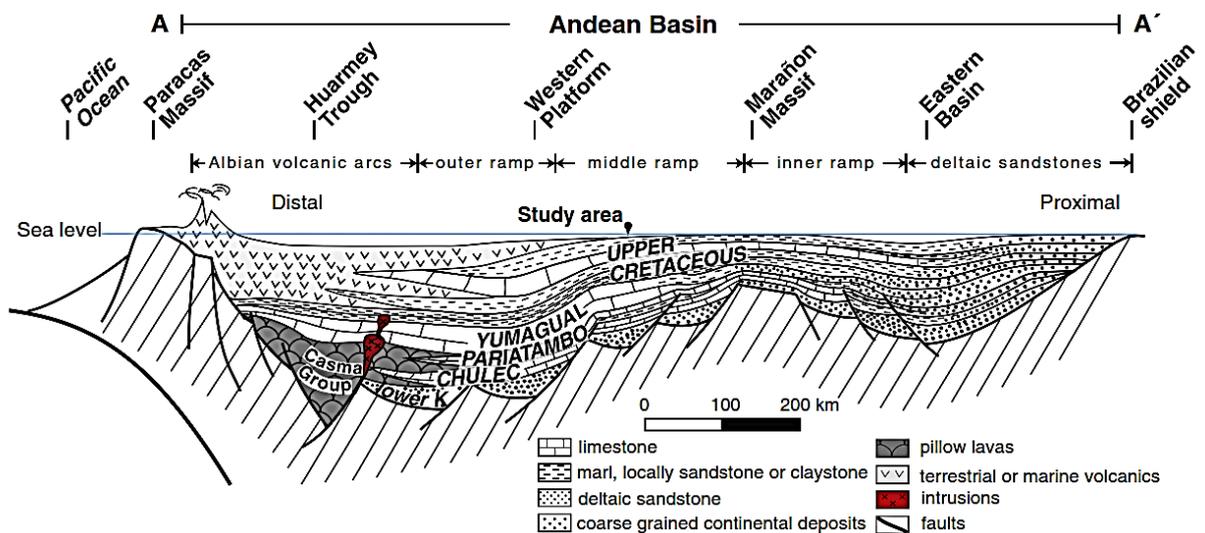


Figura N° 20. Transposición hipotética a través de la Cuenca Andina durante los tiempos Neocomiano-Coniaciano (basada en Benavides-Cáceres, 1956; Atherton y Webb, 1989; Jaillard, 1987) Morfología de la rampa de plataforma occidental. Consulte la posición aproximada del transecto en la Fig. 19 (A - A') (Navarro et al,2015).

4.2.7. Asociaciones faciales y entornos deposicionales (Cretácico Medio)

4.2.7.1. Ajuste de la rampa interior submareal poco profunda

El ambiente de deposición de la rampa interior submareal poco profunda comprende tres tipos de facies: 1a, 1b y 1c (Figura 21 y Tabla 3). Los depósitos más proximales se componen de barro gris arcilloso y ocasionalmente areniscas rica en hierro, que representa intervalos de dos a cinco metros gruesas (porciones superiores de la Formación Inca). La escasa fauna presentes de restos de conchas indiferenciados y flora como restos de plantas (Facies 1a). En Subámbitos más distales, los estratos muestran paquetes de engrosamiento hacia arriba y las facies se caracterizan por packstones y wackestones arcillosa, que exhiben una textura nodular debido a un aumento de contenido arcilloso, intraclastos y oncoides también se observan en cantidades variables (Facies 1b). La evidencia de bioturbación es limitada y las estructuras sedimentarias primarias, como los estratos planos, están bien conservados. (Navarro et al, 2015).

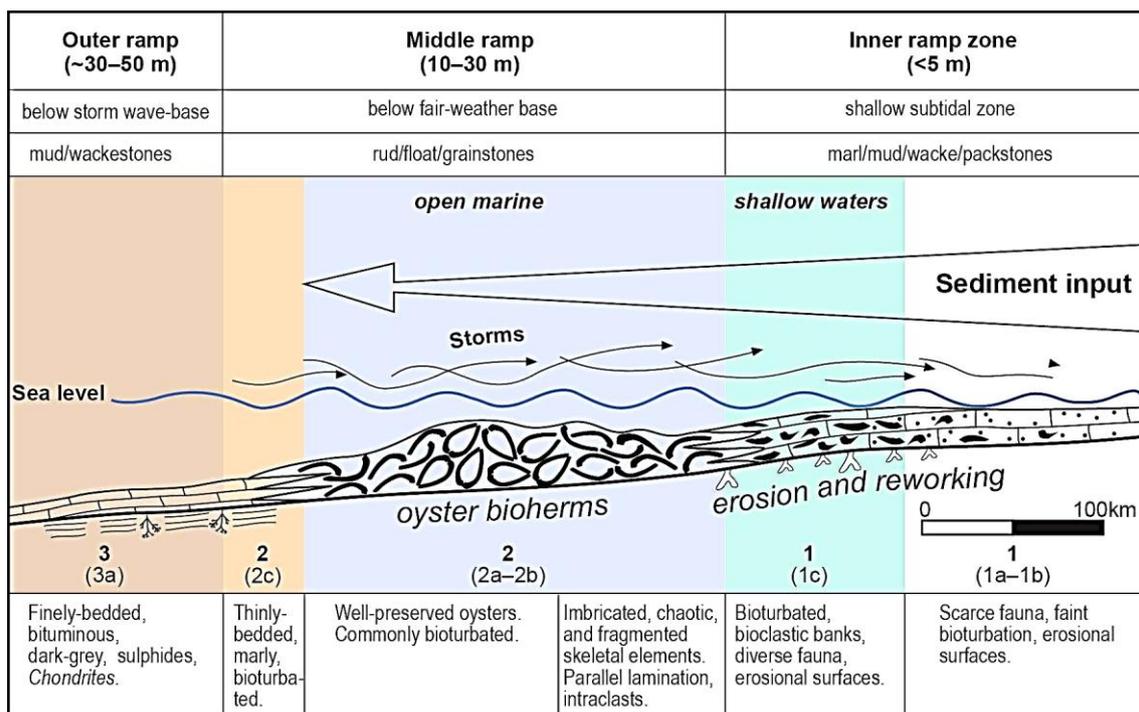


Figura N° 21. Ambientes sedimentarios de las calizas de Cajamarca en el Cretácico Medio (Navarro et al,2015).

Hacia entornos marinos más abiertos, Facies tipo 1b lechos más gruesos, caracterizados por grano y ocasionalmente por facies y que alcanza de 1 a 3m de espesor (Facies 1c, porciones inferiores de Formación Chúlec). Facies 1c es típicamente rico en mezclas y

fragmentación restos de concha, principalmente de ostras y gasterópodos y equinodermos. La bioturbación es localmente más intensa y los estratos más borrosos. Se observan superficies de discontinuidad menores abundantes. Estos se caracterizan mineralización de FeO y el aumento de los niveles de bioturbación de rocas.

TABLA N° 3. Visión general de la clasificación e interpretación de la facies. Los números indican la abundancia relativa de componentes no esqueléticos y esqueléticos: 0 = ausente, 1 = presente, 2 = frecuente, 3 = abundante, 4 = dominante (Navarro et al,2015).

Facies code	Colour code	Facies/ key biota	Texture	Skeletal and non-skeletal components	Depositional environment	Facies associations and depositional environment	
1a		Restricted fauna with quartz	m	Plant remains 1-2, quartz 2-3.	Shallow subtidal	1	Shallow subtidal inner ramp
1b		Argillaceous restricted fauna	m, M-W	Micrite envelopes 1-2, peloids 1-2, oyster 1, oncoids 1-2, shell debris 1.	Shallow subtidal		
1c		Argillaceous diverse fauna	W, P-G, F	Peloids 1, oyster 2-3, gastropods 1-2, shell debris 1-2, oncoids 1, echinoderms 1-2, benthic foraminifera 1-2.	Shallow subtidal		
2a		Diverse fauna-high energy	P-G, F	Peloids 1, oyster 1-2, gastropods 1-2, shell debris 2-3, echinoderms 2-3, benthic foraminifera 1-2.	Open marine ramp	2	Open marine-middle ramp
2b		Oyster floatstone	F-G, R	Oyster 2-4, shell debris 2-3, echinoderms 1-2.	Open marine ramp		
2c		Diverse fauna-low energy	M-W, P	Shell debris 1, echinoderms 1-2, planktonic foraminifera 1-2.	Open marine ramp		
3a		Dark grey, muddy facies	M	Shell debris 1, echinoderms 1, planktonic foraminifera 1.	Outer ramp	3	Outer ramp

m = marl; M = mudstone; W = wackestone; P = packstone; G = grainstone; F = floatstone; R = rudstone

Las características litológicas y paleontológicas de las facies subtidal de la rampa expuesta en el área del estudio apoyan una restricción, ambiente de baja energía, donde los depósitos de tormenta, abundante flujo terrígeno, la escasez de las icnofacias marinas indican un nivel significativo de continentalidad. Estimados de la paleo-batimetría basándose en parámetros comparables en otros lugares apuntan a profundidades de agua de pocos metros solamente (Facies 1a). (Navarro et al, 2015).

Las calizas depositadas en la configuración de la rampa interna más distal, es decir, hacia el oeste, muestran una fauna más diversa y disminución terrígena plana que sugiere un ambiente subtidal protegido y poco profundo bajo energía hidrodinámica cerca de la muy poco profunda base de onda de tiempo libre (Immenhauser, 2009; Facies 1b). La presencia de los granos esqueléticos transportados, fragmentados y desgastados por tormenta (Facies 1c). En ausencia de corales, las algas verdes calcáreas o facies ooidales,

una estimación de la paleo-batimetría de la parte interna distal rampa es difícil. En comparación con los datos mostrados en Yanin (1983), el agua desde profundidades el nivel del mar cercano a unos 5 m se estima tentativamente depósitos de facies de tipo 1c. En este sentido, parece probable que las facies los tipos 1a a c no se diferencian por batimetría sino a través de su nivel decreciente flujo clástico y cada vez más masas de agua. (Navarro et al, 2015).

4.2.7.2. Configuración de rampa central marino abierto

El medio marino más abierto, medio de deposición en rampa comprende tipos de facies 2a, 2b y 2c (**Figura 21 y Tabla 3**). Depósitos de la configuración de la rampa central se caracteriza por paquetes de biohermos de ostras, intercalados por unidades de granos raros que producen diversos elementos esqueléticos y intraclastos (Facies 2a). Las ostras son un elemento faunístico dominante y asociado con equinodermos y ammonites ocasionales. Los elementos esqueléticos están imbricados localmente, en otros lugares los bioclastos son dispuestos en lentes y se exhiben sin selección no clasificada y bioclastos fragmentados. Los packstones de Oyster representan biohermos con dimensiones de entre 5 y algunas decenas de metros y espesores de hasta un metro (Facies 2b). Cambios de facies, las capas exhiben adelgazamiento y están representados por lodo bioturbado a wackestones, menos comúnmente por packstones. Los elementos faunísticos consisten en gasterópodos, equinodermos y foraminíferos planctónicos y de restos de conchas no especificados (Facies 2c). (Navarro et al, 2015).

En general, la facies de ostras es testigo de la hidrodinámica erosionado, arrastrado y vuelto a depositar biohermos de ostras que de otro modo situado debajo de la base efectiva de olas de clima buen tiempo (Facies 2a), es decir, la profundidad a la cual los orbitales de onda son todavía capaces de moverse partículas de sedimento (Immenhauser, 2009). Según Yanin (1983), biohermos de ostras en la mitad de la rampa de configuración a menudo se encuentran en aguas antiguas de profundidades entre 10 y 20 m (Facies 2b). En los modernos mares oceánicos la media efectiva de la base de onda es del orden de 30 ± 15 m. Dada la amplitud de la rampa epicontinental estudiada aquí, las olas húmedas y de oleaje del Pacífico Cretáceo probablemente, el océano perdió gran parte de su energía debido a la interacción flotante de las olas de fondo y mar y el miembro extremo más bajo de esta gama es batimétrica (Keulegan y Krumbein, 1949). Además, la importancia del arco volcánico Albiano al oeste es difícil de cuantificar en términos los climas de las olas presentes. La combinación de biohermos de ostras, combinada con los gasterópodos y los

equinodermos, la presencia de foraminíferos planctónicos y el amoníaco puede indicar un mar abierto con una profundidad de agua entre ~ 10-30m. (Navarro et al, 2015).

4.2.7.3. Ajuste de la rampa exterior

El ajuste de la rampa exterior se caracteriza por facies de tipo 3a (Figura 21 y Tabla 3) y se encuentra por debajo del alcance de la base de ola de tormenta efectiva. Las facies obtenidas se componen fundamentalmente de piedras de barro en capas gruesas a decímetros y produce rastros de depósitos de sulfuro (contenido de pirita). La facies carbonatada es gris oscuro en el color de la intemperie. Bioturbación de tipo *chondrites* es común. La composición faunística incluye foraminíferos y equinodermos (Facies 3a). Depósitos de grano fino caracterizados por coloración gris oscuro, laminación fina, alto contenido de pirita, *chondrites* y la escasa fauna pueden indicar un ambiente olas de tormenta en condiciones de agua relativamente anóxicas al suelo marino.

En la moderna y abierta mar oceánica expuesta a la tormenta, la tormenta efectiva de onda es del orden de 150m o menos (Immenhauser, 2009). Considerando la plataforma epicontinental y los posibles efectos de barrera del Albiano volcánico hacia el oeste (Atherton y Webb, 1989), sin embargo, este rango de profundidad parece improbable debido a la pérdida de energía por fricción de la base de onda y se sugiere un rango de profundidad de 30-50m de manera tentativa. Este es el rango de profundidad típico cuencas más pequeñas, epicontinental-neríticas que podrían representar algún tipo de análogo de la ancha plataforma peruana a mediados de Cretácico, pero el mundo moderno no proporciona análogos adecuados a la plataforma Cretácea Occidental del Perú. (Navarro et al, 2015).

4.2.8. Modelos generadores de anoxia y cambio climático

Modelo para ilustrar la variedad de procesos geoquímicos característicos de las OAEs (eventos anóxicos oceánicos). El volcanismo, a través de la liberación de gases de efecto invernadero, inicia el calentamiento global; El aumento de la acidificación de los océanos a partir de la disolución de CO_2 y de SO_2 provoca una mayor disolución del carbonato; Y la liberación de metano de los hidratos de gas, provocada por el calentamiento de las aguas de fondo y la pila sedimentaria subyacente y / o fallas sinsedimentarias, produce un mayor aumento de la temperatura en el agua de mar y la atmósfera. El ciclo hidrológico se acelera con el aumento del flujo de nutrientes a los océanos; upwelling se intensifica, al igual que la productividad orgánica. Como se muestra en esta fase temprana de la OAEs

(eventos anóxicos oceánicos), el agotamiento de oxígeno ha avanzado a un estado donde la desnitrificación y el proceso de anammox (Oxidación anaeróbica de amonio) han reducido el nitrato y el nitrito, de modo que el óxido nitroso (un potente gas de efecto invernadero que promovería el calentamiento global) y el dinitrógeno elemental están siendo Perdido del océano. Los sedimentos ricos en orgánicos cambian de bioturbado a laminado (rico en restos de peces) ya que los bentos se excluyen del fondo del mar por la propagación de condiciones anóxicas. El manganeso se fija como fases carbonatadas diagenéticas tempranas en o justo debajo del fondo marino; el hierro se fija como pirita por debajo del fondo marino. El perfil de isótopos de carbono ilustrado muestra el efecto de un aumento global en el enterramiento de carbono, causando una expulsión $\delta^{13}\text{C}$ positiva interrumpida por una expulsión negativa producida por la entrada de metano isotópicamente negativo y su producto de oxidación dióxido de carbono. Inspirado por Weissert [2000] (Jenkyns, 2009).

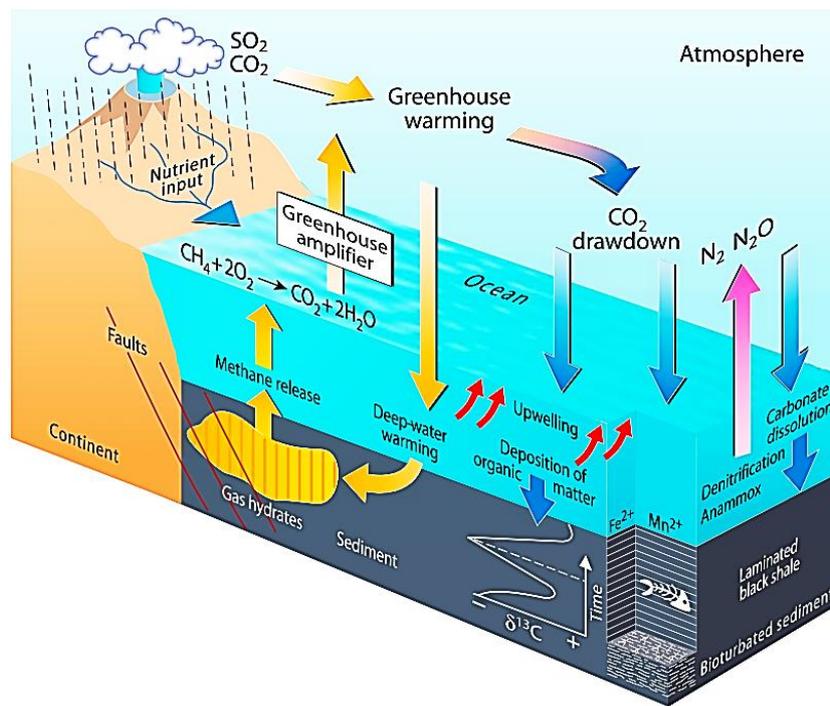


Figura N° 22. Modelo esquemático variedad de procesos geoquímicos característicos de las OAEs (eventos anóxicos oceánicos) (Jenkyns, 2009).

Modelo para ilustrar la variedad de procesos geoquímicos característicos de las EOA. Tal como se muestra en esta etapa más extrema de la OAEs (eventos anóxicos oceánicos), grandes extensiones de la columna de agua han avanzado hacia la reducción de sulfatos (condiciones euxínicas libres H_2S), con la precipitación de framboides de pirita en la columna de agua. En ausencia de nitrato disuelto, pero en presencia de fosfato libre de

sedimentos ricos en compuestos orgánicos, las cianobacterias fijadoras de nitrógeno pueden prosperar en ambientes iluminados de superficie cercana, al igual que las bacterias de azufre verde en partes ligeramente más profundas de la zona fótica donde H_2S libre está presente. El molibdeno y el osmio se extraen en arcillas piríticas orgánicas ricas bajo condiciones euxínicas. Las relaciones isotópicas de osmio, neodimio y estroncio reflejan el equilibrio entre el aporte fluvial, relacionado con el desgaste de materiales continentales y los flujos de fuentes volcánicas e hidrotérmicas. En aguas de fondo euxínicas, el neodimio radiogénico de origen hidrotérmico puede dispersarse lateralmente, en lugar de precipitarse en oxihidróxidos metalíferos (Fe–Mn) (tales fases no serían estables), y encuentran en su camino esqueletos de pescado que se acumula en el fondo marino. Un ciclo hidrológico intensificado y un aumento de la meteorización continental estimularían la productividad orgánica no sólo en los océanos, sino también en los grandes lagos, lo que favorecería el desarrollo de facies ricas en ácidos lacustres cotidianos. Los perfiles de isótopos de carbono y azufre ilustrados muestran el efecto de un incremento global en el enterramiento de carbono marino, causando una expulsión $\delta^{13}C$ positiva y un aumento en la fijación global de la pirita, causando una expulsión $\delta^{34}S$ positiva.

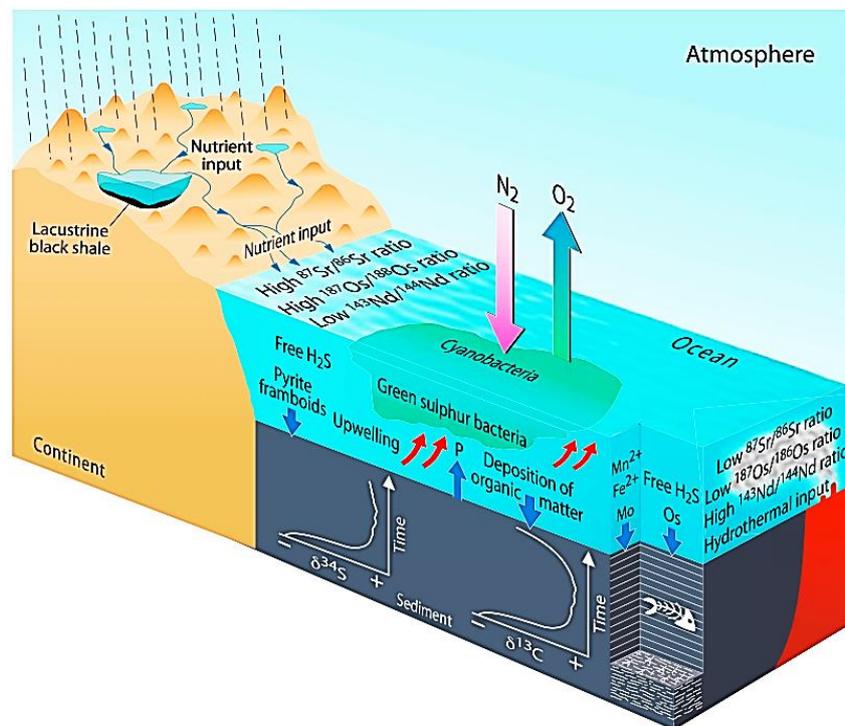


Figura N° 23. Etapa más extrema de la OAEs (eventos anóxicos oceánicos) (Jenkyns, 2009).

4.2.9. Diques y sill (Interpretación con Respecto a Navarro et al,2015)

Se denota presencia de diques y sills en la zona de estudio que nos ayudan a determinar y corroborar en el tiempo geocronoestratigráfico específicamente de la Formación Chúlec y Pariatambo en el distrito de La Encañada.

Para ello se sustenta la teoría en un gráfico lo cual denota la evolución del margen nor-peruano con los distintos eventos ocurridos en las diferentes edades, para nuestra interpretación nos ubicaremos en la base del Albiano inferior. (Ver Figura N°24).

Tres eventos tectónicos y sedimentarios afectaron la margen nor-peruana, en el Aptiano superior, en el Cenomaniano inferior a medio y durante el Santoniano - Campaniano.

Durante el Aptiano superior (110Ma.), el océano Pacífico registro un nítido aumento de la actividad volcánica (Schlanger et al., 1981; Rea y Vallier, 1983). El océano sur-Atlántico registro una aceleración de su expansión, y un cambio de su polo de rotación (Larson y Pitman, 1972; Pitman y Talwani, 1972; Rabinowitz y La Brecque, 1979; Emery y Uchupi, 1984), y el Atlántico central se abrió entre Brasil y África (Lehner y de Ruiter, 1977; Rabinowitz y La Brecque 1979; Emery y Uchupi 1984). Si las cordilleras medio-oceánicas hubiesen sido fijas, la aceleración de la expansión habría llevado una aceleración de la velocidad de convergencia a lo largo de la margen occidental de América del Sur. Paradójicamente, es en esta época que se inició la distensión y el volcanismo en la zona costera.

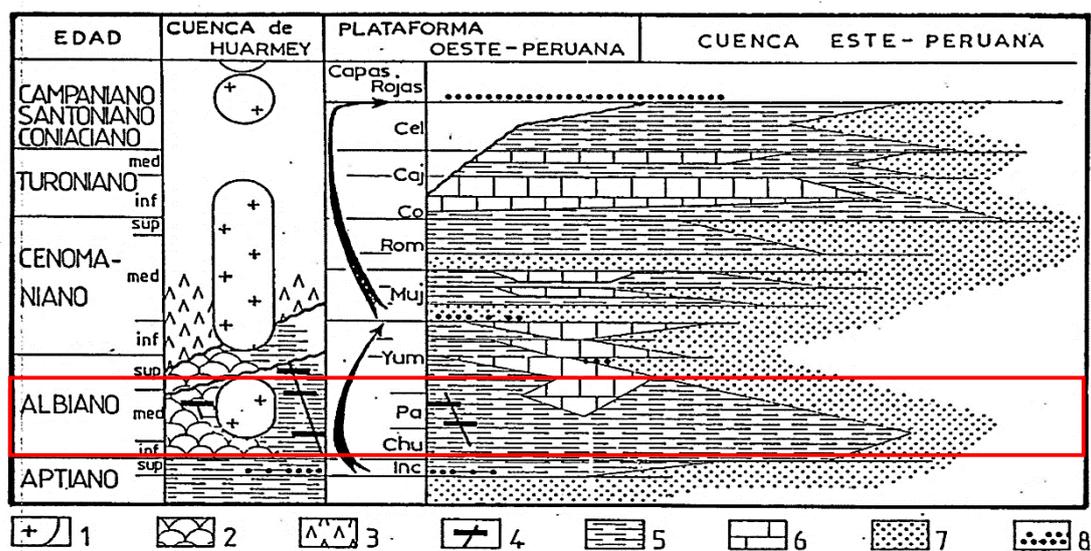


Figura N° 24. Evolución sintetizada de la margen nor-peruana. 1: Intrusiones magmáticas; 2: Volcanismo submarino; 3: Volcanismo aéreo; 4: Sills y diques; 5: Margas marinas; 6: Calizas de plataforma; 7: Areniscas deltaicas; 8: Estructuras tectónicas sinsedimentarias (brechas, fallas, slumps.) (Jaillard,1990).

4.2.9.1. Sill en la Formación Chúlec

Coordenadas: N: 9215893 E: 794264, Cota: 3244 m.s.n.m

El magma de composición andesítico se forman en la zona de subducción, corteza oceánica o continental. Contenido de sílice (-60%) y minerales hidratados, como anfíboles o biotitas (Rivera,2007), pudo haber alcanzado temperaturas entre 900 y 1100°C para llegar a estar en contacto con las calizas de la Formación Chúlec, de aproximadamente 20 metros de largo contiene nódulos o concreciones en una matriz subvolcánica, hacia los flancos del sill se observa como esta calcinando a las calizas que se presentan color cenizo por interacción de los fluidos con la roca caja al momento contacto.

Se ha llegado identificar entre sills y diques alrededor del distrito La Encañada de similar composición petrológica alrededor la zona de estudio en contacto con las calizas en diferentes afloramientos de la Formación Pariatambo y Chúlec.



Foto N° 30. Imagen de la derecha sill composición andesítica presente al margen de la carretera del distrito La Encañada-Celendín intruyendo la Fm.Chulec, Imagen de la izquierda nódulos de diorita.

Los sills y diques se presentan generalmente como enjambres radiales o concéntricos alrededor de intrusiones plutónicas, la zona de estudio está cerca a proyectos mineros al noreste Michiquillay y al sureste Aurora Patricia lo cual ayuda a esta teoría de los diques y sills presentes alrededor de La Encañada son producto en superficie de un gran cuerpo intrusivo como foco alimentador.

4.2.9.2. Sill sector noreste del distrito La Encañada

Formación Pariatambo

Durante la transgresión del Aptiano superior-Albiano hacia el Norte y el Oeste del Perú, la Formación Pariatambo puede ser rica en sills volcánicos y en niveles de toba (Wilson, 1984; Baldock, inédito), que indican una actividad volcánica notoria a esta época. La formación pasa gradualmente a la Formación Yumagual.

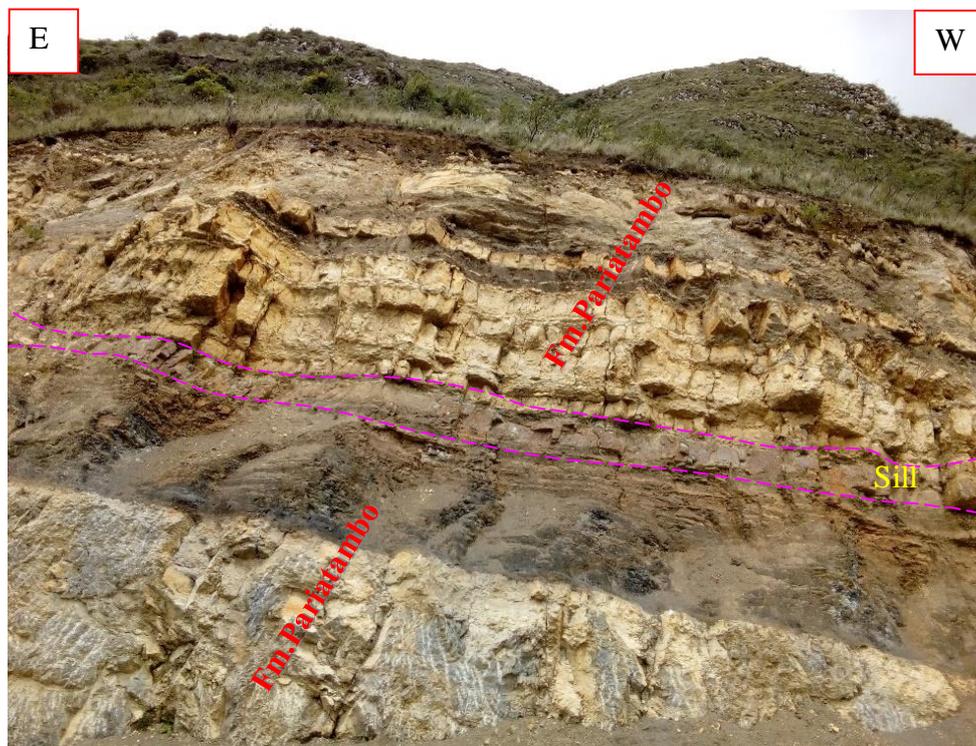


Foto N° 31. Sill paralelo a las limolitas negras, calizas azuladas y calizas pardas de gran espesor en la Formación Pariatambo sector noreste del distrito La Encañada. Coordenadas: N: 9219566; E: 796142; cota: 3446 m.s.n.m.

La sola presencia de este cuerpo ígneo sill andesítico corrobora que estamos en un tiempo geocronoestratigráfico del Albiano, denotan la zona como de gran importancia para el estudio de estas características las cuales son únicas en la zona La Encañada, específicamente la Formación Pariatambo.

4.3. Contrastación de la hipótesis

La caracterización estratigráfica y sedimentológica, las de facies, el tipo de ambiente de depositación y condiciones litobioestratigráficas en las unidades lito-estratigráficas del en el distrito La Encañada; evidencian diferentes eventos en la Formación Chúlec desarrollados en mar abierto permitiendo la acumulación de material calcáreo (animales marinos poco conservados) que aportaron por periodos de edad Albiano Inferior, gran cantidad de sucesión estratigráfica de limolitas calcáreas en pequeños lentes, calizas arenosas indicando periodos regresivos en la cuenca los cuales aportaron significativamente sedimentos que ayudan a diferenciar esta formación de otras; al oeste Formación Pariatambo formación paleoambiental en ambiente oxígeno-deficiente hacia el final del Albiano un mar de aguas profundas deposita una secuencia de limolitas calcáreas, bituminosas, negras, interestratificadas con calizas también bituminosas de olor fétido (ambiente oxígeno-deficiente), ricamente fosilíferas, principalmente en concreciones grandes, discoideas, con fauna de ammonites; además, contiene pelecípodos y gasterópodos, al noreste Formación Pariatambo fósiles bivalvos encontrados del miembro medio a superior de la Formación Pariatambo en algunos pequeños hacia la parte superior de la carretera que conduce a Celendín, ocurre un cambio de paleoambiente, de un ambiente euxínico y reductor a uno más oxidante por lo cual afloran calizas con colores mucho más claros, desarrollados en climas templado-cálido; Formación Yumagual al noreste las cuales presenta poco niveles fosilíferos reconocibles se evidencia una transgresión marina, las calizas packstone-wackestone con bioclastos desgastados y fragmentados sugieren una inversión textural; las partículas dominantes de alta energía han descendido por pendientes locales a emplazamientos de baja energía, eventos geológicos en el distrito La Encañada presenta también diques y sills que ayudan a determinar y corroborar en el tiempo geocronoestratigráfico específicamente de la Formación Chúlec y Pariatambo asociados a tres eventos tectónicos y sedimentarios afectaron la margen nor-peruana, en el Aptiano Superior, en el Cenomaniano Inferior a Medio y durante el Santoniano – Campaniano (Jaillard, 1990).

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Tres columnas litoestratigráficas levantadas de la Formación Paritambo, Formación Chulec-Formación Paritambo, Formación Yumagual con un total de 580 metros acumulados en el distrito La Encañada.

Desarrollo de calizas arenosas en la Formación Chulec de aportes continentales durante una transgresión marina en el Albiano, limolitas presentes en la Formación Paritambo del anticlinal de La Encañada se desarrollaron a niveles relativamente profundos, calizas packstone masivas intercaladas con limolitas en la Formación Yumagual ultima del Cretácico Superior.

Estructuras masivas, calcos de carga, laminaciones onduladas, laminaciones paralelas y fallas prevalecen en las tres columnas litoestratigráficas levantadas de las distintas Formaciones en el distrito La Encañada. Limolitas de textura bien sorteada de grano muy fino en las Formaciones levantadas, calizas con textura deposicional descritas en Formación Chulec, Paritambo y Yumagual basadas en el lodo de carbonato presente y en el tipo de fábrica (grano o soporte de lodo) arrojan tipo mudstone, wackestone y packstone.

Los carbonatos de plataforma continental en el distrito La Encañada están compuestos en su mayoría por material esquelético o están inducida por precipitación de actividad orgánica la cual no se ha llegado a identificar macroscópicamente.

La Formación Yumagual presenta un cambio a nivel paleoambiental inicia el perfil estratigráfico con gasterópodos y bivalvos que de adaptaron a rangos de salinidad muy amplios en la cuenca (niveles más profundos), grada a un nivel de salinidad marina normal con la presencia de equinodermos que evidencian niveles de depositación más someros a nivel continental.

La Formación Paritambo con abundancia de bioturbaciones, calizas y limolitas color oscuro de olor fétido una plataforma pobre en O_2 y con más concentración de SH_2 lo cual

le da ese olor desarrollada en plataforma interna o lagón; a diferencia de las limolitas negras potentes al noreste que no tienen ese olor , lo cual se deduce que se desarrolló en un ambiente de depositación en aguas más abiertas permitiendo la oxigenación de las aguas.

La geodinámica interna influyo mucho en la presencia de los diques y sills ubicados en el distrito La Encañada, los cuales están asociados a cuerpos plutónicos de gran tamaño; referencia proyectos mineros como Michiquillay y Aurora Patricia, lo cual ubica a la Formación Chúlec, Pariatambo en un tiempo cronoestratigráfico del Albiano.

5.2. RECOMENDACIONES

Debido a la presencia de algunos fósiles que no son característicos de algunas Formaciones se sugiere hacer un estudio paleontológico más detallado para determinar su origen a cargo del área de Paleontología de la DGR del INGEMMET.

Hacer micropaleontología secciones finas petrográficas con la luz polarizada, así poder identificar muchos más organismos y poder aumentar datos en colaboración con el Instituto de Paleontología de la Universidad Nacional de Piura.

Por las coloraciones de las diferentes unidades litoestratigráficas en calizas, se sugiere hacer un estudio de microscopía en contenido materia orgánica en coordinación con el área de Paleontología de la DGR del INGEMMET.

Determinar a través de análisis petrológico como geoquímico la presencia de los diques y sills a detalle para su distribución en la zona de La Encañada en las diferentes Formaciones, así como seguir corroborando el tiempo cronoestratigráfico en coordinación con encargados de laboratorio de petrología Universidad Nacional de Cajamarca específicamente Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica.

No se identificó niveles de Chert en la Formación Pariatambo de los afloramientos rocosos estudiados, se puede hacer un estudio a detalle y poder correlacionar con otros lugares determinando porque no se presenta en la zona de estudio con egresados interesados en la investigación estratigráfica y sedimentológica de la Universidad Nacional de Cajamarca específicamente Ingeniería Geológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

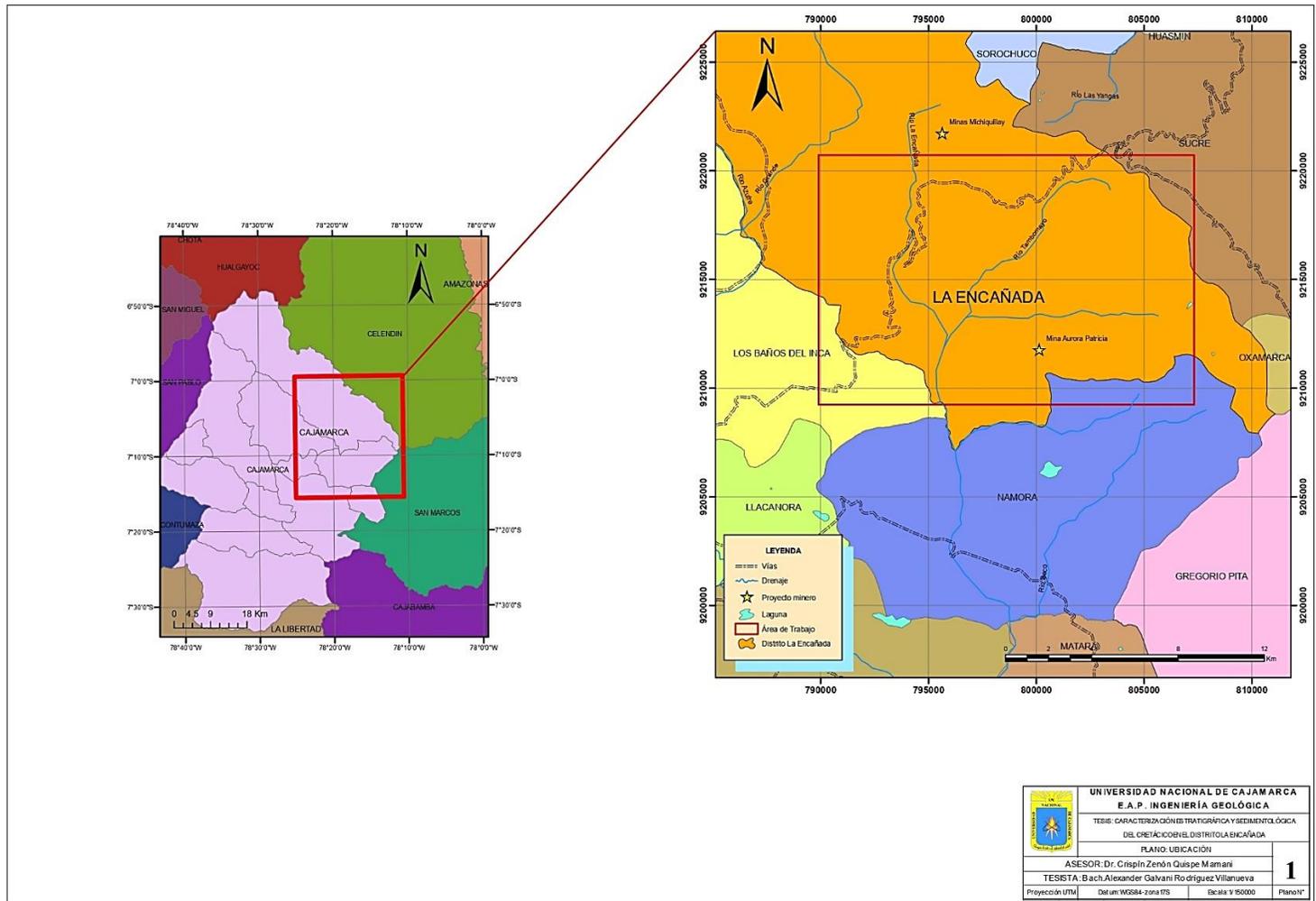
- Arche, A. 2010. "Sedimentología del Proceso Físico a la Cuenca Sedimentaria". Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid-España.1290 p.
- Barragán et.al (2010). Instituto de Geología, UNAM, Boletín 117.
- Bilmes, A. 2013. "Caracterización Estratigráfica, Sedimentológica y Estructural del Sistema de Bajos Neógenos de Gastre, Provincias de Río Negro y del Chubut". Tesis Dr. Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional de la Plata.220 p.
- Boletín N° 55 "Geología del Perú" – INGEMMET. p.46
- Camacho, H., Longobucco, M. 2007. Los Invertebrados Fósiles. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Universidad de Maimónides, Buenos Aires, Argentina, 865 p.
- Chivelet, J. 1992. "Las Plataformas Carbonatadas del Cretácico Superior de la Margen Bética (Altiplano de Jumilla - Yecla, Murcia)". Tesis Dr. Madrid, España, Universidad Complutense de Madrid.597 p.
- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Lima –Perú.
- Dunham, RJ. 1962. Clasificación de rocas carbonatadas según la textura depositacional. En: Ham, WE, Ed., Clasificación de rocas carbonatadas, AAPG, Tulsa, 108-121.
- Fernández, C. 2012. *Ostrea edulis* (en línea). Asturias, España. Consultado el 21 oct.2016.Disponible en <http://www.asturnatura.com/especie/ostrea-edulis.html>
- Fernández, C. 2011. *Dosinia exoleta* (en línea). Asturias, España. Consultado el 21 oct.2016.Disponible en <http://www.asturnatura.com/especie/dosinia-exoleta.html>
- Haley, B. 2015. Biocollections (iDigBio) *Oxytropidoceras carbonarium* Gabb (en línea). Áncash, Perú. Consultado el 21 oct.2016. Disponible en <https://www.idigbio.org/portal/records/212c72a6-379c-4da5-b95d-a416fb5dae29>
- Huanacuni, D. 2010. Recursos Minerales del Distrito La Encañada, Departamento de Cajamarca. INGEMMET. Lima-Perú.4 p.

- Jacay, J. 2005. "Análisis de la Sedimentación del Sistema Cretáceo de los Andes del Perú Central". Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Vol. 8, N.º 15 Universidad Nacional Mayor de San Marcos. p. 49-59.
- Jaillard, E., Sempere T. 1991. Las Secuencias Sedimentarias de la Formación Miraflores y su Significado Cronoestratigráfico. Revista Técnica de YPFB 12 (2):257-264.
- Jenkyns, H. 2010. Geochemistry of oceanic anoxic events. Geochemistry. Geophysics. Geosystems 11(3). 30 p.
- Lagos, A., Quispe, Z. 2012. "Caracterización Litológica y Paleontológica del Cretáceo Inferior en Cajamarca: las Formaciones Santa y Carhuáz". Encuentro Científico Internacional Revista ECIPERU.
- León, W., et.al. 2008. "Estratigrafía, Sedimentología y Evolución Tectónica de la Cuenca Pisco Oriental". Boletín N°27-Serie D INGEMMET, Lima-Perú. 161 p.
- Llambías, E. (2001). Geología de los cuerpos ígneos. CONICET. Buenos Aires, Argentina. 235 p.
- Martinez, G., et.al. 2011. Prospección de Fosfatos en el Departamento del Huila. (en línea). Huila. Colombia. Consultado el 14 nov. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/figure/Figura-96-Ambientes-sedimentarios-de-calizas_fig16_326723313
- Mejía, W. 2014. "Estudio Sedimentológico y Estratigráfico del Caserío de Puylucana-Otuzco-Cajamarca-2012". Tesis Ing. Cajamarca, Perú, UNC.
- Minaya, I. 2008. "Modelado de los Sistemas Petroleros en las Cuencas Subandinas del Perú (cuencas: Madre de Dios, Ucayali, Huallaga, Santiago y Marañón)". Tesis Ing. Lima, Perú, UNI. p. 8-9.
- Monreal, R., et.al. 2011. "Caracterización del Grupo Bisbee (Cretácico Inferior) en el área al sur de la sierra Basómari, Noreste de Sonora, México". Bol. Soc. Geol. Mex vol. 63 no. 2 México. p. 365-378.
- Navarro, J. 2016. Estudio de las Facies Sedimentarias de las Calizas Cretácicas de Oyón

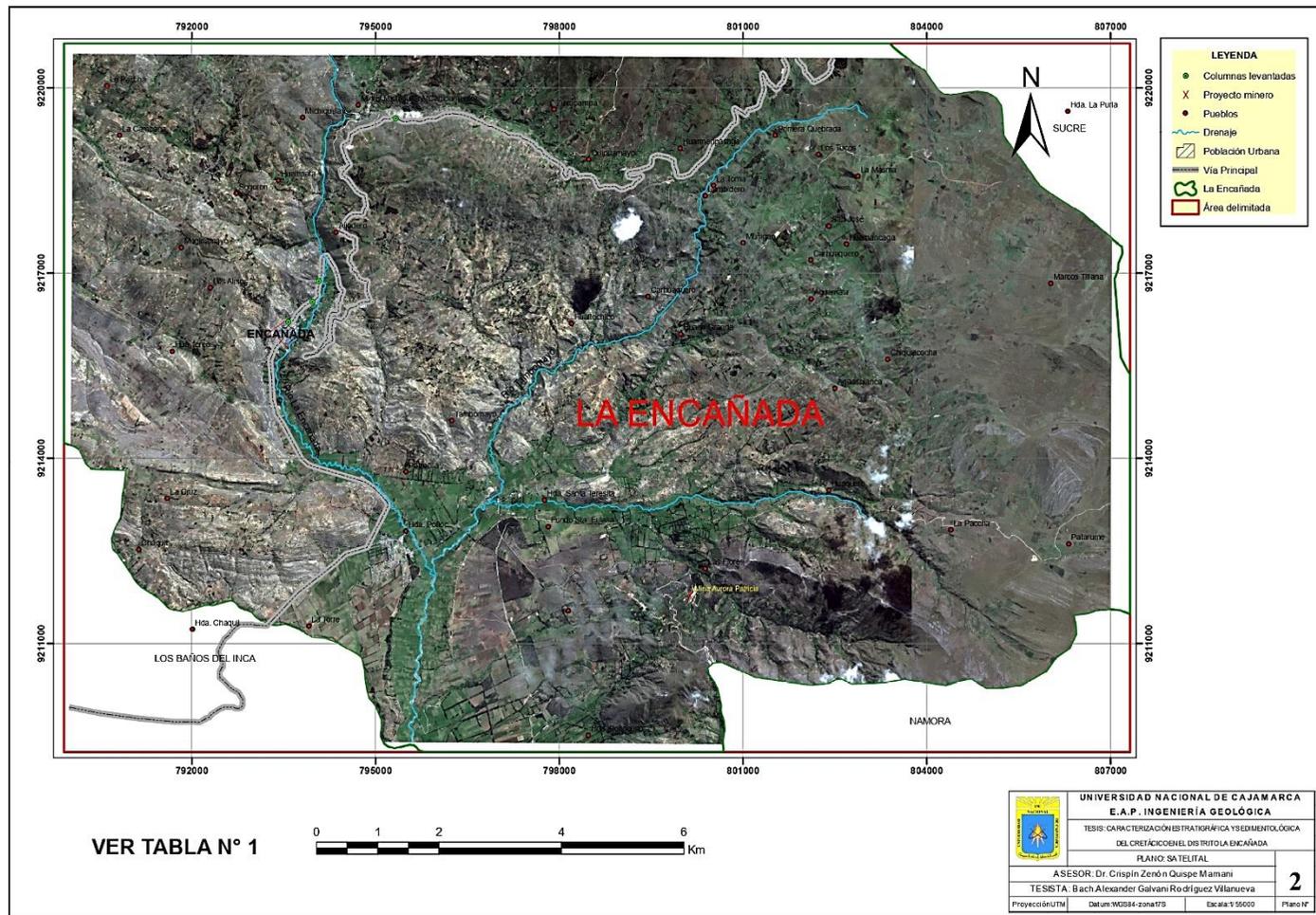
- (Formación Jumasha) y Cajamarca y su Aplicabilidad Económica (en línea). Lima, Perú. Consultado el 09 de may.2017. Disponible en http://www.sgp.org.pe/wp-content/uploads/MG-16.11.16_Juan-Navarro.pdf
- Navarro, J., et al. 2015. Record of Albian to early Cenomanian environmental perturbation in the eastern sub-equatorial Pacific. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ELSEVIER B.V.15 p.
- Navarro, O. 2011. Costa Brava (en línea). Girona, España. Consultado el 19 abr.2017. Disponible en <http://www.aventurasgeologicas.com/2011/10/vacaciones-y-geologia-en-la-costa-brava.html>
- Nazarí. 2015. *Turritella dixonii* (en línea). Sensui, España. Consultado el 27 marz.2017. Disponible en http://www.granadanatural.com/ficha_fosiles.php?cod=119
- Nichols, G. (2009). *Sedimentología y Estratigrafía*. Blackwell Science Ltd., Londres, 335p.
- Pardo, A., Moreno, M., Gomez, A. 2002. “Estratigrafía de Algunos Depósitos del Cretáceo Superior en las Cordilleras Central y Occidental de Colombia: Implicaciones Regionales”. Universidad de Caldas, Manizales-Colombia.125 p.
- Reyes, L. 1980. Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba; INGEMMET: Bol. N°31- Serie A.
- Rivera, R. 2016. Alcances Metalogénicos de los Pórfidos de Au-Cu-Mo y sus Relaciones en la Exploración Minera (Región Cajamarca) (en línea).Cajamarca, Perú. Consultado el 20 oct.2016. Disponible en http://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/202784/030_2009_Articulo_PE_RUMIN29_Alcances_metalogeneticos_porfidios_Au_Cu_Mo_relaciones_exploracion_Minera_RRivera.pdf/c70de916-b83f-4e40-a065-ff365c8ff986
- Ruiz et al (2015). “Fenómenos diagenéticos en calizas del Jurásico-Cretácico de un sector de las cuencas de Huimanguillo-Comalcalco-Alto de Jalpan y primeras observaciones mediante microscopio electrónico de barrido y microtomografía 3D.” *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen 67, Núm.3,2015.
- Torres, E. 2011. “Estratigrafía, Sedimentología y Tectónica de la Cuenca Condoroma (Mioceno), Arequipa - sur del Perú”. Tesis Ing. Lima, Perú, UNI.164 p.

- Torrijo, F & Mandado J. 2010. Nódulos y Concreciones. España, Universidad de Zaragoza.8 p.
- Tucker, M & Wright V. 1990. Carbonate Sedimentology. Publicaciones Blackwell Scientific. Inglaterra, Oxford.554 p.
- ULISBOA (Universidade de Lisboa, UL).2015. IDENTIFICAÇÃO DE FÓSSEIS DE GASTROPODA (en línea). Lisboa, Portugal. Consultado el 20 de abr.2016. Disponible en <http://paleoviva.fc.ul.pt/Paleogeofcul/Sebenta/05Gastrop.pdf>
- Vera, J. 1994. “Estratigrafía Principios y Métodos”. Editorial Rueda, S. L., Madrid-España. 829 p.

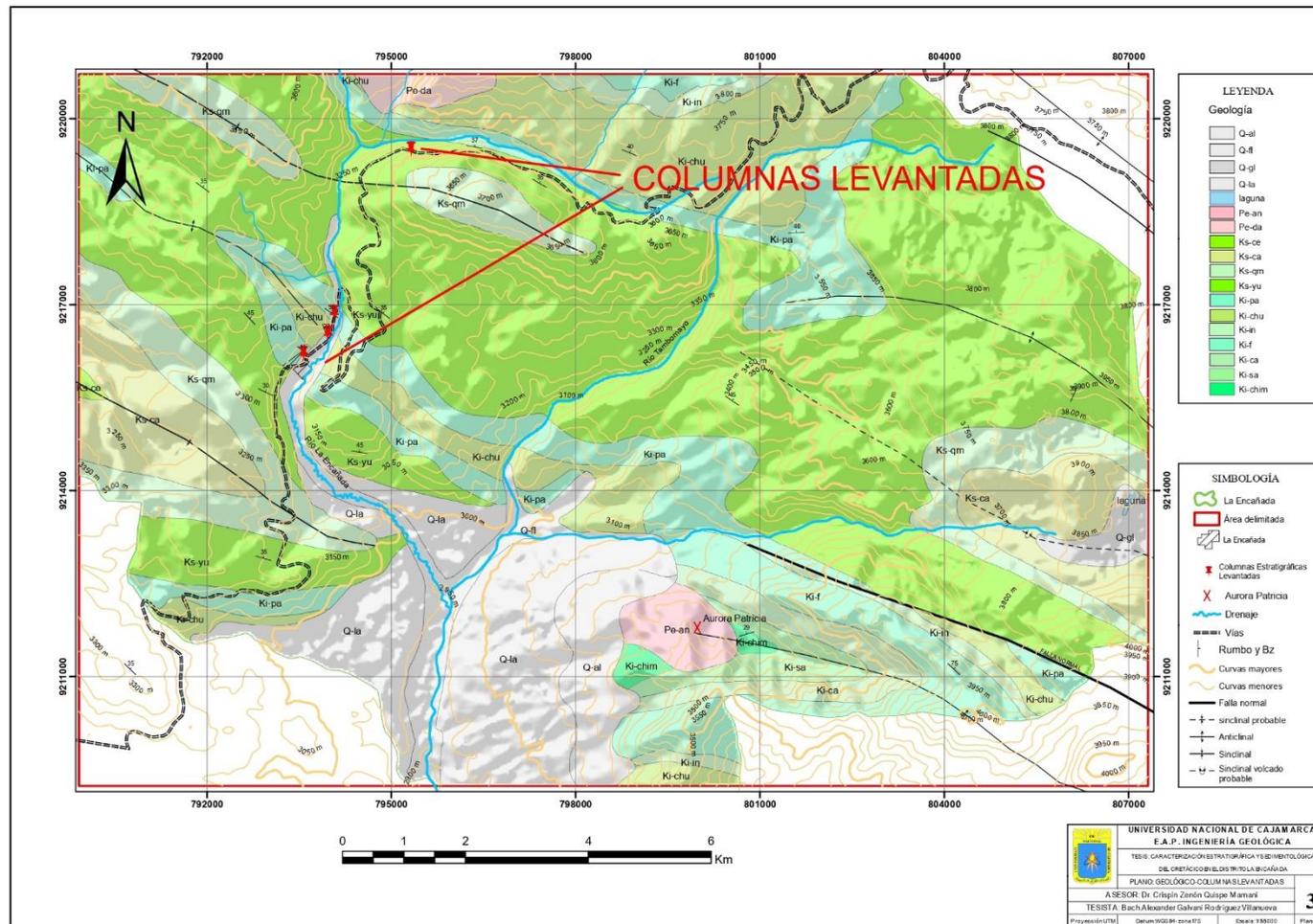
ANEXOS



Plano N° 1. Mapa de la ubicación política del distrito La Encañada.



Plano N° 2. Mapa satelital del distrito La Encañada.



Plano N° 3. Mapa ubicación –columnas estratigráficas levantadas en el distrito La Encañada.

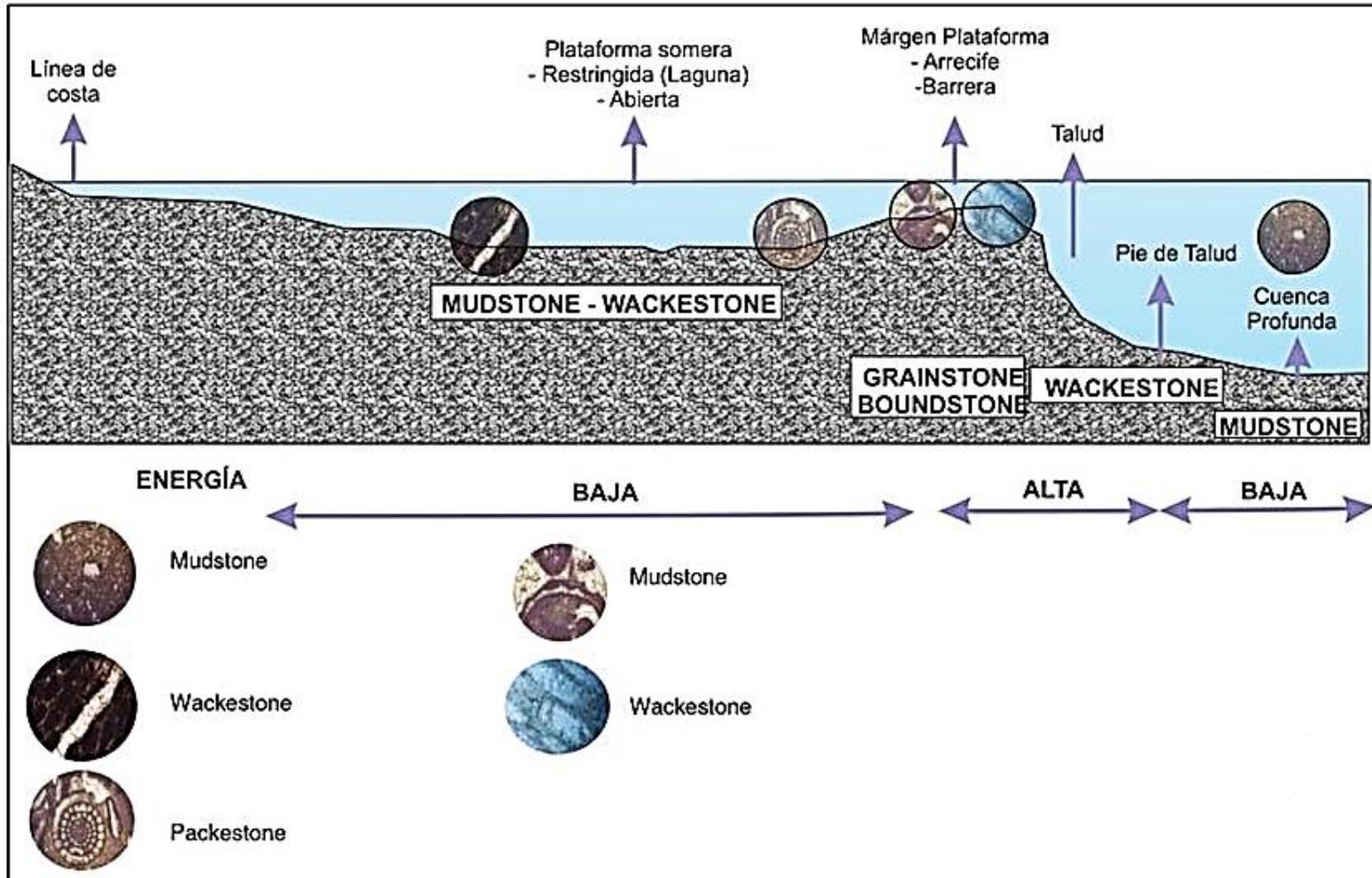


Figura N° 25. Ambientes de sedimentación y depósito de calizas (Martinez et.al,2011).



Foto N° 32 .Intercalación de limolitas calcáreas con capas de calizas en la Fm.Chúlec, onduladas por compactación diferencial.



Foto N° 33. Calizas en estratos de mediano espesor presentes en Fm.Yumagual.



Foto N° 34. Capas de limolitas presentes en la Fm. Yumagual fisibles, aproximadamente de 0.85m de espesor.



Foto N° 35. Calizas pardas y grises, poca notoriedad de bioclastos macroscópicamente en la Fm. Yumagual.