UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE FACIES SEDIMENTARIAS DE LA FM. JUMASHA SUPERIOR PARA DETERMINAR EL TIPO DE ROCA HOSPEDANTE DE LA MINERALIZACIÓN EN EL DEPÓSITO CRD DEL PROYECTO YUMPAG - CERRO DE PASCO – PERÚ

PRESENTADO POR:

Br. WHITNEY PAOLA USNAYO PERALES

PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO

ASESORA:

Dra. MARIA MAYSSA VEGA GUZMAN

CUSCO- PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: .....

"DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE FACIES SEDIMENTARIAS DE LA FM. JUMASHA SUPERIOR PARA DETERMINAR EL TIPO DE ROCA HOSPEDANTE DE LA MINERALIZACIÓN EN EL DEPÓSITO CRD DEL PROYECTO YUMPAG - CERRO DE PASCO – PERÚ"

Presentado por: .....WHITNEY PAOLA USNAYO PERALES..... DNI N° .....74136793.....

presentado por: ..... DNI N°: .....

Para optar el título profesional/grado académico de .....INGENIERO GEOLOGO.....

.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de .....3.....**%.**

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, ..18.. de .....Junio..... de 2025.....

.....

Firma

Post firma..MARÍA MAYSSA VEGA GUZMÁN

Nro. de DNI.....23974723.....

ORCID del Asesor..0000-0003-2907-1171.....

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:**.....27259:465007565.....

Whitney Paola Usnayo Perales

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE FACIES SEDIMENTARIAS DE LA FM. JUMASHA SUPERIOR PARA DETERMINAR EL TIPO DE

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:465007565

Fecha de entrega
6 jun 2025, 7:28 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
6 jun 2025, 7:37 a.m. GMT-5

Nombre de archivo
DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE FACIES SEDIMENTARIAS DE LA FM. JUMASHA SUPERIOR PARA DETER....pdf

Tamaño de archivo
39.5 MB

229 Páginas

43.575 Palabras

274.833 Caracteres

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

3%	Fuentes de Internet
0%	Publicaciones
1%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
37 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Texto oculto
198 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

ÍNDICE

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTOS vii

LISTA DE TABLAS viii

LISTA DE FIGURAS ix

LISTA DE FOTOGRAFÍAS xiii

RESUMEN xix

ABSTRACT xx

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I - GENERALIDADES 3

1.1 Ubicación y Acceso 3

1.1.1 Accesibilidad 3

1.2 Descripción del Problema 4

1.3 Planteamiento del Problema 6

1.3.1 Problema General 6

1.3.2 Problemas Específicos 6

1.4 Objetivos.. 7

1.4.1 Objetivo General 7

1.4.2 Objetivos Específicos 7

1.5 Hipótesis…. 7

1.5.1 Hipótesis General 7

1.5.2 Hipótesis Específicas 8

1.6 Metodología de estudio 9

1.6.1 Enfoque de estudio 9

1.6.2 Nivel de estudio 9

1.6.3 Método de trabajo 9
1.7 Justificación 11
CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO 14
2.1 Antecedentes 14
2.2 Bases teóricas 15
2.2.1 Depósitos CRD 15
2.2.2 Depósitos Skarn 17
2.2.3 Skarnoide 18
2.2.4 Facies sedimentarias 19
2.2.5 Asociación de Facies Sedimentarias 19
2.2.6 Sedimentos carbonatados 20
2.2.7 Componentes texturales 20
2.2.8 Clasificación de rocas carbonatadas 22
2.2.9 Granos no Esqueléticos 24
2.2.10 Sedimentación carbonatada 28
2.2.11 Plataformas Carbonatadas 31
2.2.12 Modelos de Facies Deposicionales 36
CAPÍTULO III – GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL 48
3.1 Geología Regional 48
3.1.1 Formación Oyón 49
3.1.2 Grupo Gollarisquizca 50
3.1.3 Formación Pariahuanca 51
3.1.4 Formación Chulec 52
3.1.5 Formación Pariatambo 52
3.1.6 Formación Jumasha 53

3.1.7 Formación Celendín (200 metros) 55
3.1.8 Formación Casapalca (150 metros) 56
3.1.9 Grupo Calipuy (200 metros) 56
3.2 Geología Local 58
3.2.1 Miembro Jumasha Medio (540 metros) Turoniano tardío a Coniaciano temprano (89.8 a 86.3Ma) 59
3.2.2 Marker (23 metros) 60
3.2.3 Miembro Jumasha Superior - Coniaciano a Santoniano (86.3 a 83.6Ma) 60
3.2.4 Formación Celendín (220 metros) 61
3.2.5 Formación Casapalca (200 metros) 63
CAPÍTULO IV – EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y CONTEXTO ESTRUCTURAL 65
4.1 Contexto Geotectónico Regional 65
4.1.1 Ruptura de Rodinia y Pangea: Formación de Fallas Extensionales 65
4.1.2 Formación del Alto Marañón (Jurásico, 200-145Ma) y la Cuenca Peruana (Jurásico-Cretácico, 200-80 Ma) 66
4.1.3 Subducción de la Placa de Nazca y Transición de Extensión a Compresión en el Cretácico Superior (Cenomaniano-Conaciano) 68
4.1.4 Intrusión del Batolito de la Costa y Levantamiento Andino (Cretácico Superior)……. 69
4.1.5 Desarrollo de la Faja Plegada y Corrida del Marañón 69
4.1.6 Fase Extensional Intra-arco (Oligo Mioceno) 70
4.2 Contexto Estructural 71
4.2.1 Cronología de Eventos 75
CAPÍTULO V – MAGMATISMO Y PROCESOS HIDROTERMALES 79
5.1 Plutonismo 79

5.2 Cronología de Emplazamiento y Mineralización 84
5.3 Paragénesis y Mineralogía del Yacimiento 86
5.3.1 Paragénesis del Yacimiento 86
5.3.2 Mineralogía del Yacimiento 93
CAPÍTULO VI – ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN 101
6.1 Diferenciación y Correlación Espacial de Facies 101
6.2 Análisis Microscópico de Facies 111
6.2.1 Fauna Fosilífera y Ambiente Paleoecológico 111
6.2.2 Descripción Microscópica de Facies por Niveles 122
6.3 Horizontes Favorables según Modelo de Facies Carbonatas 144
6.3.1 Zonas de Facies y Configuración espacial de Horizonte Gaterópodos 144
6.3.2 Zonas de Facies y configuración espacial de Horizonte Beta 153
CONCLUSIONES 159
RECOMENDACIONES 161
REFERENCIAS 162
ANEXOS 171

DEDICATORIA

A mis padres, mis héroes sin capa, que con manos callosas y corazón gigante convirtieron cada sacrificio en oportunidades, y cada sueño mío en una meta posible. Su amor es el cimiento de todo lo que soy.

A mis hermanos, mis cómplices y raíz, que con su apoyo incondicional convirtieron los días grises en motivos para seguir. Son mi refugio y mi alegría.

A mi tío Edwin, quien con la misma entrega que mis padres tendió puentes donde yo veía precipicios. Su presencia en mi vida es un regalo que nunca podré pagar.

Y a mí misma, por no rendirme cuando el camino pesaba, por levantarme cada vez que tropecé, y por creer, incluso en silencio, que valía la pena seguir luchando. Esta tesis es también mi victoria personal, un recordatorio de que la perseverancia siempre florece.

A todos, gracias por ser mi razón y mi luz.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, gracias a Dios Nuestro Señor, siempre lo primero en esta vida.

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, y en especial a mis docentes, por brindarme las herramientas académicas y las oportunidades que me permitieron crecer como profesional, tanto dentro como fuera del país. Su guía ha sido fundamental en mi formación.

A mi estimada asesora, la Dra. Mayssa Vega, por su invaluable apoyo, paciencia y conocimientos compartidos durante todo el proceso de investigación.

A la empresa Buenaventura, por permitirme utilizar los datos del Yacimiento Yumpag para el desarrollo de este trabajo, así como por las oportunidades de crecimiento personal y profesional que me han brindado.

Un profundo agradecimiento a los Ingenieros Juan Carlos Salazar, José Trujillo y Juan Carlos Muñoz, por su colaboración y aportes técnicos. Y, de manera muy especial, al Ing. Rolando Ligarda, quien no solo ha sido mi asesor en esta tesis, sino también un mentor en mi carrera, compartiendo su experiencia y alentándome en cada etapa de este camino.

A todo el equipo de Yumpag, especialmente a mis compañeros geólogos, cuyo trabajo y apoyo fueron esenciales para la realización de esta investigación. Igualmente, a toda el área de Exploraciones, por su colaboración constante y por hacer que cada desafío en el campo se convirtiera en una oportunidad de aprendizaje.

No puedo dejar de mencionar a mis amigos y compañeros de la universidad: Saúl, Daniel, Miluska, Jashira, Albert y Alexandra, quienes han sido mi soporte emocional y académico durante estos años. Sus consejos, risas y compañía hicieron que este recorrido fuera menos solitario y más enriquecedor. Juntos hemos avanzado en este apasionante camino de la geología, que sin duda aún tiene mucho por delante para nosotros.

Finalmente, a mi familia, cuyo amor incondicional y apoyo han sido el motor que me impulsó a nunca rendirme. A ellos les debo la fortaleza para perseguir mis metas y la humildad para seguir aprendiendo.

¡Que la curiosidad científica y el rigor profesional nos sigan guiando hacia nuevos horizontes!

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Rutas de acceso a Yumpag 3

Tabla 2 Tipos de micro facies estándar.....37

Tabla 3 Descripción de Zonas de Facies Estándar.....40

Tabla 4 Estratigrafía de secuencias carbonatadas y entorno de deposición.....46

Tabla 5 Descripción de facies del Horizonte Gasterópodos, Marker y Jumasha Medio. 106

Tabla 6 Descripción de facies del Horizonte Beta.....110

Tabla 7 Descripción macroscópica y microscópica de formación Jumasha – Marker 122

Tabla 8 Descripción macroscópica y microscópica de formación Jumasha Superior-Horizonte Gasterópodo 126

Tabla 9 Descripción macroscópica y microscópica de formación Jumasha Superior-Nivel Beta 135

Tabla 10 Descripción macroscópica y microscópica de formación Superior-Nivel Margoso 140

Tabla 11 Descripción macroscópica y microscópica de formación Celendín 143

Tabla 12 Clasificación de Zonas de Facies en Plataformas Carbonadas para el Horizonte Gasterópodos-Jumasha Superior por análisis de microfacies, basado en clasificación de Wilson (1975) y Flügel (1972). 145

Tabla 13 Clasificación General de Zonas de Facies en Plataformas Carbonadas para el Horizonte Gasterópodos-Jumasha Superior por análisis de las 33 facies sedimentarias.....149

Tabla 14 Clasificación de Zonas de Facies en Plataformas Carbonadas para el Horizonte Beta-Jumasha Superior por análisis de microfacies 155

Tabla 15 Clasificación General de Zonas de Facies en Plataformas Carbonadas para el Horizonte Beta-Jumasha Superior por análisis de las 04 facies sedimentarias 157

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación del Proyecto Yumpag.....4

Figura 2 Sección transversal esquemática a través de un depósito de pórfido y las relaciones espaciales con un skarn y reemplazamiento de metales base. 16

Figura 3 Zoneamiento típico de Skarn de Zn, Pb y Mn. 17

Figura 4 Tipos de formación de Skarn.....18

Figura 5 Componentes texturales principales de materiales carbonáticos.....20

Figura 6 Clasificación de las calizas de acuerdo a su composición.....23

Figura 7 Clasificación de las calizas de acuerdo a su textura 24

Figura 8 Ooide y Oncoide.....25

Figura 9 Lugares de formación de granos revestidos 26

Figura 10 Formación de grapestones y lumps 27

Figura 11 Principales factores que controlan la formación de sucesiones carbonatad as en plataformas.....28

Figura 12 Plataformas carbonatadas 29

Figura 13 Modelo deposicional para facies de carbonatos del Cretácico Superior en la Unidad Sadr del área de Nakhlak 31

Figura 14 Modelo de deposición de plataforma anular carbonatada 33

Figura 15 Facies sedimentaria de una plataforma carbonatada del complejo Capitán Carlsbad 34

Figura 16 Modelo de deposición de rampa carbonatada 34

Figura 17 Modelo de plataforma Epeírica 35

Figura 18 Zonas de Facies Estándar del modelo de Wilson modificado.....39

Figura 19 Secuencia estratigráfica cercana a los depósitos carbonatados 44

Figura 20 Mapa geológico regional correspondiente al sector noreste del Cuadrángulo de Oyón. 48
Figura 21 Geología del Distrito Minero de Uchucchacua 57
Figura 22 Columna Estratigráfica del Distrito minero de Uchucchacua- Yumpag 57
Figura 23 Columna Esquemática Local elaborada en la estructura Tomasa 64
Figura 24 Secuencia de colisiones del basamento en el orógeno de acreción del sector norte de los Andes Centrales.....66
Figura 25 Análisis del proceso de formación de la plataforma occidental durante el Albiano Superior.....68
Figura 26 Elementos Morfoestructurales del distrito minero de Uchucchacua.....73
Figura 27 Secciones estructurales distritales Reg-01 y Sec-07 74
Figura 28 Configuración Estructural Distrital en el Cretácico Superior y el Eoceno-Oligoceno 75
Figura 29 Configuración Estructural -Oligoceno Chacuapunta.....76
Figura 30 Configuración Estructural -Oligoceno Falla Llicllao 77
Figura 31 Disección del Anticlinal Uchucchacua -Chacuapunta por las fallas Cachipampa y Mancacuta 78
Figura 32 Configuración Estructural -Oligoceno Falla Colquicocha y Uchucchacua.....78
Figura 33 Mapa de distribución de Complejo de Intrusivos de Cerro Yumpag 79
Figura 34 Roca huésped: Tonalita – plagioclasa (PGLs) – cuarzo(qz) > ortosa (ort)– biotita(bt) – opacos 80
Figura 35 Xenolito diorítico: alteración de epidota, calcita, clorita y opacos 81
Figura 36 Plagioclasas (PGLs) y matriz reemplazada por epidota – piroxenos(Px) – cuarzo.81
Figura 37 Zona de contacto entre tonalita y diorita de grano más fino. Zona de reacción cuarzo(qz) -feldespatos(Fld), alineación de plagioclasas de la tonalita.....82

Figura 38 Fenocristales de plagioclasas y moldes de ferromagnesianos 83
Figura 39 Fenocristales de plagioclasas y moldes de ferromagnesianos 84
Figura 40 Mapa de distribución de Edades Radiométricas (U/Pb) en Yumpag y Uchucchacua. 85
Figura 41 Tabla de Edades Radiométricas (U/Pb) en Yumpag. 86
Figura 42 Paragénesis de la Estructura Tomasa. 87
Figura 43 Mapa ubicación de Estructura Tomasa vista en planta con ocurrencia mineral representada. 94
Figura 44 Sección longitudinal de Estructura Tomasa con ocurrencia mineral representada con los Cuerpos Bolones y ubicación de sondajes analizados. 95
Figura 45 Posible zonación para Estructura Tomasa 100
Figura 46 Ocurrencia del Mn en la estructura Tomasa 100
Figura 47 Mapa de distribución de sondajes analizados para diferenciación de facies y correlación 103
Figura 48 Sección para mostrar distribución de sondajes analizados para diferenciación de facies y correlación, en modelo sin cuerpo Mineralizado. 103
Figura 49 Correlación de facies del Horizonte Gasterópodos, Marker y Jumasha Medio. Se correlacionan niveles favorables y niveles guía y trampa. 105
Figura 50 Correlación de facies del Horizonte Beta. Se correlacionan niveles favorables y niveles guía y trampa. 109
Figura 51 Ubicación de las secciones delgadas para el Horizonte Gasterópodo. Columna Sedimentaria del sondaje YUM22-230. (Ver columna estratigráfica completa ANEXO 15) 125
Figura 52 Ubicación de las secciones delgadas para el Horizonte Beta. Columna Sedimentaria del sondaje YUM21-225. (Ver columna estratigráfica completa ANEXO 10). 134

Figura 53 Ubicación de las secciones delgadas para el Nivel Margoso. Columna Sedimentaria del sondaje YUM22-229. (Ver columna estratigráfica completa ANEXO 14).....139
Figura 54 Ubicación de las secciones delgadas para la Formación Celendín. Columna Sedimentaria del sondaje YUM22-230. (Ver columna estratigráfica completa ANEXO 15). 143
Figura 55 Zonas de Facies Estándar del modelo de Wilson (1975) modificado 148

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Frente de Corrimiento de la FPCM, Pliegue volcado de Chacuapunta.....76

Fotografía 2 Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa. 88

Fotografía 3 Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa. 88

Fotografía 4 Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa. 89

Fotografía 5 Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa. 90

Fotografía 6 Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa. 90

Fotografía 7 Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa. 92

Fotografía 8 Fotomicrografía SD574544-A/ SD574546-B YUM21-224-Tomasa.....93

Fotografía 9 Cristales en Mena de Tomasa.....96

Fotografía 10 Cristales en Mena de Tomasa.....96

Fotografía 11 Cristales en Ganga de Tomasa 97

Fotografía 12 Cristales en Ganga de Tomasa 97

Fotografía 13 Cristales en Camila.....98

Fotografía 14 Mineralización de alabandita masiva con parches y bandas de py, esfalerita en parches y diseminaciones de Ag rojas. 99

Fotografía 15 Caliza mudstone con textura laminada y matriz margosa gris oscura 172

Fotografía 16 SD636496 NP YUM22-230 816.80 metros. Ostrácodos-os. 172

Fotografía 17 Caliza limpia gris claro textura packstone a grainstone.....173

Fotografía 18 SD636497 NP YUM22-230 819.00 metros. Foraminíferos del tipo Miliolidae-mil y Peruvianella Peruviana-per, Rotorbinella mesogeensis-rt y ostrácodos-os.....173

Fotografía 19 Caliza micrítica limpia bioclástica 173

Fotografía 20 SD636478 NP YUM22-230 624.60 metros. Peruvianella Peruviana-per, Climacammina- clm, equinodermos-eq, espinas de equinordermos-sp, ostrácodos-os, pellets-pel.....174

Fotografía 21 Caliza limpia gris claro textura grainstone.....174
Fotografía 22 SD636479 NP YUM22-230 635.20 metros. Peruvianella Peruviana-per, pellets-pel.....175
Fotografía 23 Caliza limpia gris claro textura grainstone con abundantes foraminíferos largos y cortos.....175
Fotografía 24 SD636480 NP YUM22-230 645.50 metros. Peruvianella Peruviana-per, Miliolidae-mil, Bulbobuccicrenata-bbc, y pellets-pel 176
Fotografía 25 Caliza margosa, textura wackestone fuertemente bioturbada 176
Fotografía 26 SD636481 NC YUM22-230 656.00metros Perouvianella peruviana (Steinmann)-per (b). Manchas de carbonatos más claros y oscuros, débil presencia de bitumen en venillas. 177
Fotografía 27 Caliza limpia gris claro textura grainstone.....177
Fotografía 28 Caliza grainstone con bioclastos y foraminíferos micritizados.....177
Fotografía 29 SD636482 NC YUM22-230 677.30 metros. Bioclasto de gasterópodo-gast, peloides-pel (a,c), miliólidos-mil (e,f) y Perouvianella peruviana (Steinmann)-per. 178
Fotografía 30 Caliza limpia gris claro textura grainstone con abundantes foraminíferos y algunos gasterópodos 178
Fotografía 31 SD636483 NC YUM22-230 682.00 metros Perouvianella peruviana-per (Steinmann).....179
Fotografía 32 Caliza limpia gris claro textura grainstone a grapestone.....179
Fotografía 33 SD636484 NC YUM22-230 688.00 metros. Perouvianella peruviana-per (Steinmann), oolitos-oo (c), gasterópodos-gast (b) y briozooarios-bry (a) 180
Fotografía 34 Caliza limpia gris claro textura grainstone a grapestone con presencia de abundantes foraminíferos y puntuales gasterópodos 180

Fotografía 35 SD636485 NC YUM22-230 713.20 metros. Foraminíferos miliólidos-mil (a). 181
Fotografía 36 Caliza limpia gris clara, textura grapestone de grano muy fino.....181
Fotografía 37 SD636486 NC YUM22-230 722.00 metros.....181
Fotografía 38 Caliza limpia gris clara, textura packstone de grano fino 182
Fotografía 39 SD636487 NC YUM22-230 731.50 metros.....182
Fotografía 40 Caliza limpia gris clara, textura grainstone con presencia de foraminíferos y gasterópodos 182
Fotografía 41 SD636488 NC YUM22-230 737.20 metros. Peloides-pel, foraminíferos miliólidos-mil (b,c,d) y Climacammina-clm (c). 183
Fotografía 42 Caliza gris oscura bituminosa y margosa, textura packstone presencia de foraminíferos.....183
Fotografía 43 SD636489 NC YUM22-230 756.00 metros. Ostrácodos-os (a, e), Perouvianella peruviana-per (b,c) y miliólidos-mil (d). 184
Fotografía 44 Caliza limpia gris clara, textura grapestone de grano muy fino.....184
Fotografía 45 SD636490 NP YUM22-230 722.80 metros. Ooides-oo , intraclastos-int (c) y Climacammina-clm (c,d). 185
Fotografía 46 Caliza limpia gris clara, textura grapestone de grano muy fino.....185
Fotografía 47 SD636491 NP YUM22-230 773.65 metros. Miliólidos como Pseudopeneroplis Oyonensis-oyo (c) y foraminíferos Perouvianella peruviana-per (b). 186
Fotografía 48 Caliza limpia gris clara a blanquecina, grano muy fino, textura grainstone ..186
Fotografía 49 SD636492 NP YUM22-230 788.00 metros. Miiliolidos-mil.....186
Fotografía 50 Caliza bituminosa gris clara con abundante bitumen intersticial entre los bioclastos.....187

Fotografía 51 SD636493 NP YUM22-230 791.60 metros. Peruvianella Peruviana-per, miliolidae-mil, briozoos-bry, espinas de equinodermos-sp, fragmentos de equinodermos-eq y fragmentos de bivalvos-biv. 187
Fotografía 52 Caliza micrítica margosa gris oscura de textura mudstone a wackestone 187
Fotografía 53 SD636494 NP YUM22-230 795.40 metros. 188
Fotografía 54 Caliza esparítica gris clara de textura grainstone, grano muy grueso 188
Fotografía 55 SD636495 NP YUM22-230 809.30 metros. 188
Fotografía 56 Caliza gris, textura wackestone, moderado venilleo polidireccional de bitumen 189
Fotografía 57 SD636465 NP YUM21-225 556.47 metros. Espinas de equinodermos-sp(a,c,e), equinodermos del tipo Diadema -dm (c,e,f), equinodermos -eq(b,d,e,f), ostrácodos (os), Rotorbinella mesogeensis-rm (a) y Climacammina- clm (b). 190
Fotografía 58 Calizas gris, textura mudstone limpia 191
Fotografía 59 SD636490 NP YUM21-225 567.30 metros. Rotorbinella mesogeensis (a,b), Bulbobuccicrenata (c) y la Climacammina (d), carofitas-car (a). 191
Fotografía 60 Calizas grises, textura wackestone a packstone 192
Fotografía 61 SD636467 NC YUM22-225 573.80 metros. Perouvianella peruviana-per (Steinmann)(c,d,g) , Heterostegina-het(e) y Rotorbinella mesogeensis-rt (h) , carofitas Sycidium-syc (c,f), bivalvos-biv (f) y cianobacterias Fontofilia furculata- fon (b). 193
Fotografía 62 Caliza gris, textura packstone de grano fino 194
Fotografía 63 SD636468 NC YUM22-225 588.55 metros. Perouvianella peruviana-per (d,e), Dasyclads-das (a,b), ostrácodos-os (c,d,e) y bivalvos-biv (c,d,e). 194
Fotografía 64 Caliza gris, textura mudstone a wackestone 195
Fotografía 65 SD636468 NC YUM22-225 588.55 metros. Perouvianella peruviana-per (d,e), Dasyclads-das (a,b), ostrácodos-os (c,d,e) y bivalvos-biv (c,d,e). 195

Fotografía 66 Calizas margosas gris oscura, textura mudstone 196
Fotografía 67 Calizas margosas gris oscura, textura mudstone 196
Fotografía 68 Calizas grises con niveles sucios de calizas margosas gris oscuro 196
Fotografía 69 SD636471 NP YUM22-229 355.92 metros. Ostrácodos-os (a,b,e), bivalvos-biv (b,c,d), algas verdes del tipo Boueina-bou (a) y Stromatoporoidea-st (d). 197
Fotografía 70 Caliza margosa fuertemente bioturbada 197
Fotografía 71 SD636472 NP YUM22-229 371.50 metros. Ostrácodos-os (c,d), bivalvos-biv (b), equinodermos-eq (a,c) y espinas de equinodermos-sp (a). 198
Fotografía 72 Caliza gris a gris clara textura mudstone 198
Fotografía 73 SD636473 NP YUM22-229 437.20 metros. Equinodermos-eq, espículas de equinodermos-sp, ostrácodos-os. 199
Fotografía 74 Caliza gris a gris clara textura mudstone 199
Fotografía 75 SD636474 NP YUM22-229 497.40 metros. Braquiópodos-br, ostrácodos-os, espinas de equinodermos-sp, equinodermos-eq, bivalvos-biv y Climacammina-cli 200
Fotografía 76 Caliza gris a gris oscura, margosa 200
Fotografía 77 SD636475 NP YUM22-229 507.25 metros. Algas verdes Dasycladales-das Epimastopora-epi, Terquemella-trq, Udoteacens-udo, cianobacterias Fontofilia furculata- fon, Boueina-bou, braquiópodos-bra, bivalvos-biv, equinodermos-eq y espinas de equinodermos - sp. 201
Fotografía 78 Caliza gris con moderado a fuerte venilleo de bitumen 202
Fotografía 79 SD636464 NC YUM22-225 550.40 metros. Strofomenida(a,b), Climacammina (d) y equinodermos (d,f), bivalvos-biv (c), ostrácodos-os (c) y Boueina-bou (d,e). 202
Fotografía 80 Caliza margosa gris oscuro bioturbada de textura wackestone 203
Fotografía 81 SD636476 NP YUM22-230 139.60 metros. Climacammina- clm, equinodermos-eq y ostracodos-os 203

Fotografía 82 Margas gris oscuro bioturbada 204
Fotografía 83 SD636477 NP YUM22-230 147.70 metros Bulbobuccicrenata-bbc (c), equinodermos-eq y ostrácodos-os.....204

RESUMEN

Esta tesis busca optimizar las fases de perforación en la exploración minera de la estructura Tomasa-Yumpag, un depósito polimetálico de Ag, Pb y Zn tipo CRD, controlado por factores estructurales y estratigráficos. Para ello, se analizan las facies sedimentarias carbonatadas de la Formación Jumasha Superior, dado su vínculo directo con la mineralización.

A partir del estudio de 19 sondajes realizados entre 2020 y 2023, se seleccionaron seis por su metraje óptimo y mejor preservación. Estos permitieron desarrollar columnas estratigráficas correlacionables y caracterizar, mediante secciones delgadas, las facies favorables y no favorables para la mineralización en los Horizontes Gasterópodos y Beta, identificados como las principales rocas hospedantes. Las facies favorables, predominantemente bioclásticas, presentan porosidad y permeabilidad secundarias que favorecieron la circulación de fluidos mineralizantes, mientras que los niveles margosos intercalados actuaron como sellos.

El análisis estratigráfico demostró la continuidad lateral de los niveles calcáreos en un tramo de 800 metros, con espesores constantes, lo que sugiere un control sedimentario homogéneo. Los horizontes favorables presentan intercalaciones de facies típicas de ambientes de plataforma interior y márgenes de alta energía, típicas de una plataforma carbonatada estable. Entre ellas, las facies de calizas micríticas (mudstone y wackstone) compactas actúan como barreras para los fluidos mineralizantes, mientras que las bioclásticas (grainstone grapestone) están directamente relacionadas con la mineralización.

Este estudio ha permitido establecer una relación entre las facies calcáreas y la mineralización, proporcionando criterios fundamentales para planificar perforaciones futuras, optimizando los recursos en la exploración de la estructura Tomasa y áreas similares.

Palabras clave: Facies sedimentarias, Roca hospedante, Controles de mineralización, Plataforma carbonatada, Depósito CRD, Correlación Estratigráfica

ABSTRACT

This thesis aims to optimize drilling phases in the mineral exploration of the Tomasa-Yumpag structure, a Carbonate Replacement Deposit (CRD) of Ag-Pb-Zn, controlled by both structural and stratigraphic factors. The study focuses on the carbonate sedimentary facies of the Upper Jumasha Formation, given their direct association with mineralization.

From a dataset of 19 drill cores (2020–2023), six were selected based on optimal length and preservation, enabling the development of correlatable stratigraphic columns. Through thin-section analysis, favorable and non-favorable mineralization facies were characterized within the Gastropod and Beta Horizons, identified as the primary host rocks. Favorable facies are predominantly bioclastic, with secondary porosity and permeability that facilitated mineralizing fluid circulation, while interbedded marly layers acted as seals.

Stratigraphic analysis revealed 800 meters of lateral continuity in carbonate units, with consistent thicknesses, suggesting homogeneous sedimentary controls. The favorable horizons exhibit intercalations of facies typical of inner-platform and high-energy margin environments, reflecting a stable carbonate platform setting. Among these, micritic limestones (mudstone/wackstone) acted as barriers to fluid flow, whereas bioclastic facies (grainstone/grapestone) were directly linked to mineralization.

This work establishes a clear relationship between carbonate facies architecture and mineralization, providing key criteria for future drill targeting and resource optimization in the Tomasa structure and analogous CRD systems.

Keywords:

Sedimentary facies, Host rock, Mineralization controls, Carbonate platform, CRD deposits, Stratigraphic correlation.

INTRODUCCIÓN

La exploración de depósitos minerales requiere considerar factores geológicos como roca caja, controles estructurales, estratigráficos y contexto geotectónico. Esta tesis analiza el control estratigráfico en un depósito tipo CRD (Carbonate Replacement Deposits) del Distrito Minero de Uchucchacua, mediante datos de sondajes diamantinos. Entender este dominio es clave para optimizar perforaciones y reducir costos, ya que permite ubicar zonas mineralizadas con mayor precisión.

Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. ha identificado que la Formación Jumasha Superior (calizas del Cretácico) alberga skarns y cuerpos de reemplazamiento de Cu-Zn y Pb-Zn-Ag formados en el Mioceno, análogos a yacimientos como Antamina y Uchucchacua.

El Proyecto Yumpag incluye dos cuerpos mineralizados principales (Camila y Tomasa), con recursos de alta ley de plata (>130M oz Ag) espaciadas entre sí con 500 m de distancia, y al mismo tiempo vinculadas a otras estructuras como Lili, Sara, Elena, Cóndor y Candela que se encuntran en exploración inicial. El control estructural lo definen diaclasas verticales que canalizaron fluidos hidrotermales, interactuando con calizas de la Jumasha Superior y generando mineralización en niveles estratigráficos específicos. La presencia de "bolones" (cuerpos masivos de hasta 120 m de diámetro) destaca la importancia de identificar horizontes favorables en el Miembro Superior de la Fm. Jumasha, donde la estructura Tomasa se emplazó.

Estudios previos (Ligarda et al., 2017) dividieron el Jumasha Superior en cuatro subniveles: Nivel Margoso, Horizonte Beta, Nivel Bioturbado y Horizonte Gasterópodos. Se confirmó que los horizontes Beta y Gasterópodos contienen mineralización, pero este estudio revela que facies específicas dentro de ellos favorecieron el reemplazamiento, actuando como trampas estratigráficas y otras como excelentes rocas hospedantes de la mineralización. Esto permite predecir nuevos targets en las estructuras Camila y Tomasa.

Para el análisis, se seleccionaron 19 sondajes (campañas 2020-2023) del sistema Tomasa (650–880 m de profundidad), incluyendo sondajes guías (sin mineralización) y otros con cortes mineralizados. Se priorizó metraje óptimo y preservación de rocas, evitando zonas alteradas por intrusivos. Tras analizar individualmente cada sondaje, se generaron columnas estratigráficas que detallan formaciones, niveles y facies, identificando diferencias en composición, textura y fósiles. Los sondajes mejor preservados permitieron construir una sección estratigráfica local y correlacionar cuerpos mineralizados con facies favorables, definiendo asociaciones clave para la mineralización y su ubicación en la Estructura Tomasa.

CAPÍTULO I - GENERALIDADES

1.1 Ubicación y Acceso

Yumpag pertenece al distrito minero Uchucchacua, propiedad de Cía. De Minas Buenaventura S.A.A., se ubica 7km al noroeste de la Mina Uchucchacua, localizado en los Andes Occidental del Centro del Perú, en el distrito de Yanahuanca, provincia de Daniel Alcides Carrión, departamento de Pasco y en la jurisdicción de las comunidades campesinas de Huachus y San Juan Baños de Rabí (Fig. 01); a una altitud que va desde los 4,300 hasta los 5,000 m.s.n.m.

1.1.1 Accesibilidad

El acceso por vía terrestre desde la ciudad de Lima y desde Cerro de Pasco se da por dos rutas:

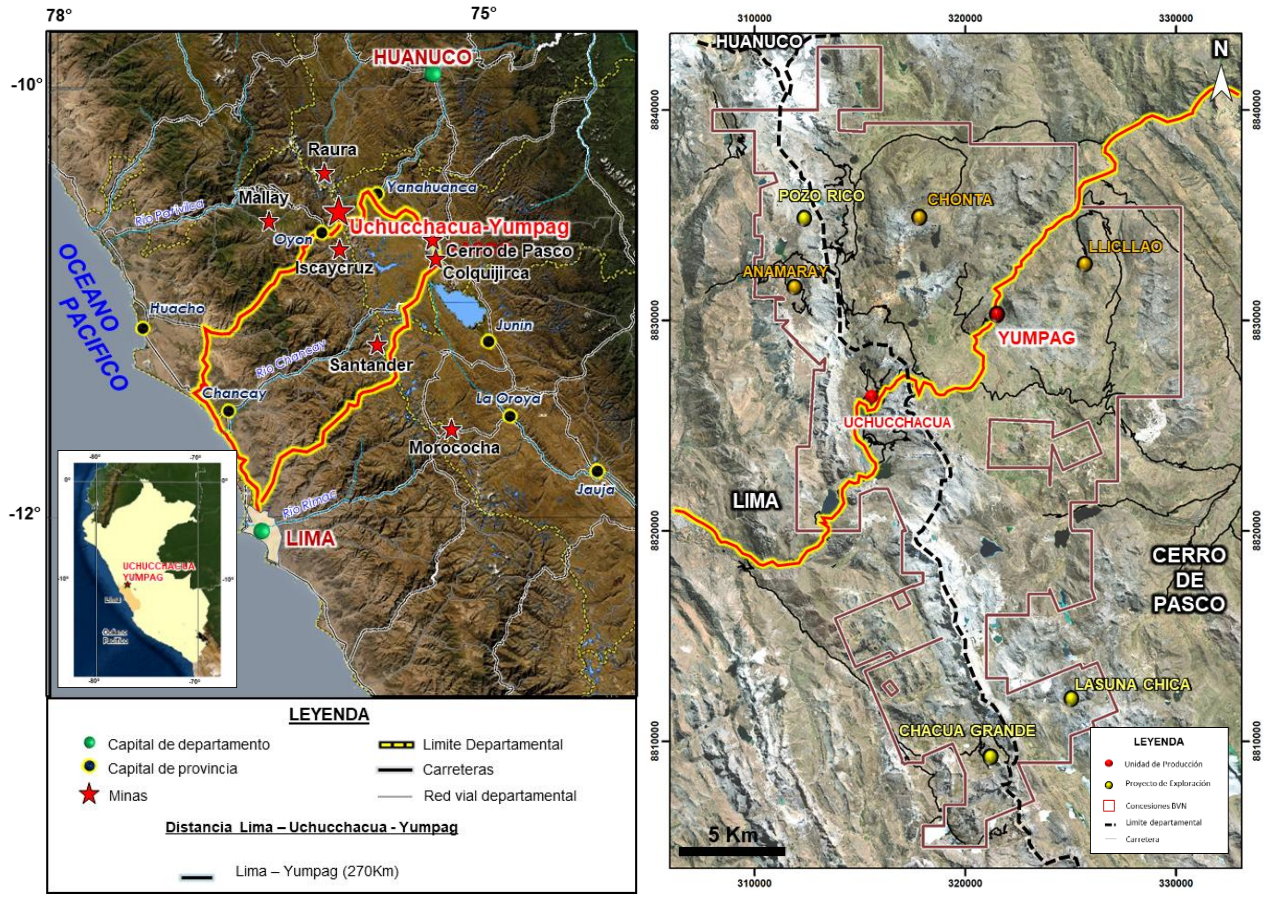
Tabla 1

Rutas de acceso a Yumpag

RUTA	TRAMO	KILOMETRAJE
LIMA - SAYÁN - UCHUCCHACUA - YUMPAG	LIMA - ANCÓN - CHANCAY - CHANCAYLLO - EL HATILLO SANTA ROSA - ANDAHUASI - SAYÁN - PACCHOTINGO CHURÍN - VÍROC - OYÓN - UCHUCCHACUA - YUMPAG	270 Km
CERRO DE PASCO - YUMPAG	CERRO DE PASCO - PACOYÁN - CACHIPAMPA - UCHUCCHACUA - YUMPAG	66 Km

Figura 1

Mapa de ubicación del Proyecto Yumpag



1.2 Descripción del Problema

Los depósitos de reemplazamiento polimetálicos de Pb-Zn-Ag-Mn en rocas carbonatadas son un tipo de depósito mineral que se forman a través de procesos químicos, en los cuales los fluidos, en este caso hidrotermales, interactúan con la caliza y reemplazan gradualmente sus componentes, que implica la disolución de la calcita, y la posterior precipitación de minerales mena (pirita, galena, esfalerita, sulfosales de Ag, alabandita, etc). Su emplazamiento puede darse de diferentes maneras, como vetas complejas, vetas de cizalla y mantos de reemplazamiento. (Megaw P. K., 1998)

Según Megaw (2023), en su conferencia de Pro Explo, menciona que estos yacimientos caracterizados por su riqueza polimetálica, continuidad en mineralización, su zoneamiento y

otras características favorables a la explotación, son buscados por contener entre 10 a 400M/tn como recursos con altas leyes en Ag, Pb, Zn y Cu que además tienen costos bajos de minado, metalurgia menos compleja que otros depósitos y una mínima huella ambiental.

Sin embargo, en cuanto a su exploración histórica, esta ha sido escasa, por la poca comprensión de controles regionales y relación espacial entre pórfidos, skarn y CRD, por considerar a los mantos como configuraciones erráticas, etc. (Cruz, 2023)

En el caso específico del Proyecto Yumpag, se observan tanto mantos mineralizados como cuerpos "Bolones" de alta ley. La diferencia radica en que los mantos están restringidos por un control estratigráfico y los cuerpos están asociados a los alimentadores de la mineralización (control estructural). Esta configuración es similar a la de otros depósitos polimetálicos en Perú, como Uchucchacua, Pallca, Raura, Pachapaqui, Huanzalá y Ayahuilca, donde las calizas del Cretácico actúan como roca caja, constituyendo excelentes metalotectos para la formación de yacimientos polimetálicos en el país.

Al enfocarse en el aspecto clave de la roca encajonante, se observa que las calizas asociadas a los mantos mineralizados no siempre presentan características claras en cuanto a textura, composición o génesis, ya que en muchos casos aparecen como bancos restringidos dentro de secuencias siliciclásticas o en tramos de espesores limitados. Por ejemplo, en Pachapaqui (Sector Mantos), las calizas se presentan como intercalaciones centimétricas con lutitas en la Formación Pariahuanca, dentro de una secuencia de 270 metros (Dolores, 2019); mientras que en Huanzalá, los mantos mineralizados están restringidos a las calizas del miembro superior de la Formación Santa (120 metros), limitadas por niveles de areniscas del miembro inferior de la misma formación y de la Formación Carhuaz. En contraste, en el distrito minero de Uchucchacua, que incluye al proyecto Yumpag, la roca encajonante predominante es la Formación Jumasha, con una sección vertical generalizada de aproximadamente 1.3 km de calizas, aunque solo ciertos niveles específicos del Jumasha Superior y Medio albergan los

mantos mineralizados. En Yumpag, el espesor de los mantos mineralizados dentro de la sección de la Formación Jumasha Superior (310 metros) se encuentra entre los 50 metros de espesor o menos, y están intercalados con otros niveles de calizas no favorables, resaltando la importancia del control litológico en la mineralización de este proyecto.

De esta situación surge la problemática de analizar las facies sedimentarias calcáreas que son las que albergan la mineralización en una columna estratigráfica mayor, para poder ajustar de manera eficiente la exploración de nuevas zonas minerales y continuidad de las que ya están descubiertas a partir de la roca encajonante.

1.3 Planteamiento del Problema

1.3.1 Problema General

¿Cuáles son las características de las facies calcáreas favorables en la roca hospedante, Horizontes Beta y Gasterópodos (Formación Jumasha Superior), para la mineralización de la Estructura Tomasa tipo CRD del Proyecto Yumpag?

1.3.2 Problemas Específicos

- ¿Cuál es la disposición de la estratigrafía de la roca hospedante que atraviesa la estructura Tomasa a partir del logueo geológico de sondajes diamantinos?
- ¿Cuáles son las facies calcáreas de la roca hospedante de la mineralización en la estructura Tomasa?
- ¿Qué características muestran las facies calcáreas favorables para la mineralización?
- ¿Cuál es la correlación de las facies calcáreas que permite definir la distribución de los cuerpos mineralizados de la roca hospedante en el conjunto de la Estructura Tomasa?
- ¿Cuáles son los elementos arquitecturales a los que pertenecen las facies calcáreas a partir de la observación macroscópica, microscópica y datos micropaleontológicos de la roca hospedante en la estructura Tomasa?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Reconocer las características de las facies calcáreas favorables en la roca hospedante, Horizontes Beta y Gasterópodos (Formación Jumasha Superior), para la mineralización de la Estructura Tomasa tipo CRD del Proyecto Yumpag, a través del análisis de facies en los sondajes de perforación diamantina seleccionados, para brindar nuevos criterios exploratorios.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Construir las secciones estratigráficas que atraviesen la estructura Tomasa a partir de los datos obtenidos del logueo geológico en sondajes diamantinos.
- Realizar el análisis de facies calcáreas de la roca hospedante, Horizontes Beta y Gasterópodos (Formación Jumasha Superior) de la mineralización en la estructura Tomasa, a partir de las secciones estratigráficas con menor presencia de mineral.
- Definir y tipificar las facies calcáreas favorables para la mineralización a partir de sus equivalentes mineralizados en secciones estratigráficas aledañas mediante la observación macroscópica de la roca hospedante de la Estructura Tomasa, Horizontes Beta y Gasterópodos (Formación Jumasha Superior).
- Identificar la continuidad de la mineralización de la roca hospedante a partir de la correlación de 19 secciones estratigráficas que atraviesa la Estructura Tomasa.
- Identificar los elementos arquitecturales a los que pertenecen las facies calcáreas a partir de la observación macroscópica, microscópica y datos micropaleontológicos de la roca hospedante en la estructura Tomasa.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

Si las facies favorables en la Estructura Tomasa (Proyecto Yumpag) son calizas bioclásticas (packstone-grainstone) de alta energía en los Horizontes Beta y Gasterópodos (Fm.

Jumasha Superior), entonces sus espesores continuos (20-30 m) actuarán como trampas estratigráficas para fluidos hidrotermales, formando cuerpos CRD. Su identificación, descripción y correlación en sondajes proveerá criterios exploratorios para continuar su propio hallazgo y de estructuras aledañas (Sara, Lili, Elena, Adriela, Condor, Luzmila y Zarela).

1.5.2 Hipótesis Específicas

- La construcción de secciones estratigráficas a partir de sondajes diamantinos revelará que la mineralización en la Estructura Tomasa está confinada a niveles específicos de facies calcáreas en los Horizontes Beta y Gasterópodos, controlados también por diaclasas verticales que canalizaron fluidos hidrotermales.
- El análisis de facies calcáreas en secciones con baja mineralización mostrará diferencias texturales (presencia de fósiles, bioturbación o bitumen) de todas las facies presentes en el Jumasha Superior, confirmando su rol como barreras selectivas o receptores para el reemplazamiento mineral.
- Las facies calcáreas mineralizadas en los Horizontes Beta y Gasterópodos corresponderán a calizas bioclásticas sin bioturbación (packstone a grainstone), con alto contenido fosilífero y porosidad primaria, heredada de ambientes de alta energía en la plataforma carbonatada del Cretácico.
- La correlación de las 19 secciones estratigráficas demostrará que las facies favorables mantienen continuidad lateral en la Estructura Tomasa, con espesores uniformes, lo que permitirá extrapolar estos horizontes a estructuras vecinas y aperturar mayores zonas con potencial exploratorio.
- La integración de datos macroscópicos, microscópicos y micropaleontológicos identificará que las facies favorables pertenecen a elementos arquitecturales de barreras o bancos carbonatados, mientras que las facies estériles actuarían como sellos, esto

conducirá a un mayor entendimiento en dimensiones mayores del potencial como control estratigráfico a nivel de la cuenca.

1.6 Metodología de estudio

1.6.1 Enfoque de estudio

La metodología de este trabajo de investigación tiene un enfoque mixto: cualitativo – inductivo, cuantitativo – deductivo. En el enfoque cualitativo – inductivo se parte de observaciones específicas para generar teorías o patrones generales. Mientras que el enfoque cuantitativo – deductivo parte de teorías o hipótesis preexistentes para probarlas mediante datos empíricos. Entonces, el enfoque mixto combina la profundidad cualitativa con la generalización cuantitativa, valida resultados mediante triangulación con múltiples fuentes de datos, y se adapta a preguntas de investigación complejas que requieren ambos tipos de análisis.

1.6.2 Nivel de estudio

Pertenece al nivel descriptivo, porque se basa en la recolección de información de variables independientes y es de alcance correlacional, porque las variables dependientes derivan de la correlación con las variables independientes.

1.6.3 Método de trabajo

Se toma información factual del logueo de sondajes diamantinos para el análisis de características diversas, correlación y conclusiones a partir de las observaciones en diversas etapas que detallo a continuación.

1.6.3.1 Selección de información

Inicialmente se toma la data de diecinueve sondajes correspondientes a la Estructura Tomasa, perforados entre los años 2020-2022, de los cuales fueron seleccionados seis con tramos cortos o nulos de mineral distribuidos en toda la sección longitudinal de la ocurrencia de Tomasa de 0.8km de extremo SW a NE, además de ser los más extensos, ya que se desea

que la información sea lo más completa posible hasta el Horizonte Gasterópodos del Jumasha Superior.

1.6.3.2 Análisis y asociación de Facies por Sondajes

De los sondajes guía (seis seleccionados) se realiza un exhaustivo análisis de facies a partir del logueo geológico y posterior asociación de estas facies para generar columnas estratigráficas de rocas carbonatas.

Estos procesos se llevaron a cabo individualmente y se tiene como resultado las columnas estratigráficas de cada sondaje diferenciados por formaciones y horizontes previamente definidos, y estos a su vez en asociaciones de facies en métricas diversas, así como la determinación de sus verdaderos espesores en la vertical. Se uniformiza la información generada, ya que los logueos realizados se dieron en tiempos y criterios diferentes.

1.6.3.3 Correlación espacial de Columnas Sedimentarias

Se lleva a cabo la correlación de las columnas estratigráficas para determinar las asociaciones de facies continuas en la sección longitudinal y los cambios en espesores de las mismas; los cuales se pudieron correlacionar al 95% todos los niveles estratigráficos, esta etapa nos da como resultado la conformación de una Columna Estratigráfica local del Jumasha Superior a partir del logueo realizado con la denominación de asociaciones de facies nombradas con letras y números dentro de los horizontes ya definidos anteriormente, así como un corte longitudinal de la estratigrafía en Tomasa, que bien puede mostrar indirectamente, la morfología de la cuenca para la estructura, lo cual lleva a determinar que ciertas unidades se engrosan o acortan moldeando la forma de la cuenca a esta sección. Esta etapa tiene como objetivo la determinación de los espesores reales de los estudiados niveles de bonanza.

1.6.3.4 Ubicación de interceptos Mineralizados en la Sección Estratigráfica

Se toma la información de la mineralización para los diecinueve pozos seleccionados y distribuidos en la extensión actual de Tomasa, los cuales hay que recalcar tienen diversos

ángulos de inclinación y azimut. Se ubican los tramos mineralizados para todos los sondajes, se analiza la composición mineral y se proyectan en la vertical para determinar espesores reales, así mismo de acuerdo con la cercanía de los pozos de la fase anterior se les asume una posición en las diversas asociaciones de facies a las que corresponden.

1.6.3.5 Análisis de Microscopía Óptica para la Caracterización de Niveles Favorables

Se analizaron 34 secciones delgadas, preparadas en colaboración con la empresa CM PETROTOMIA a través de Compañía de Minas Buenaventura. El estudio se enfocó en los niveles previamente identificados como favorables, con el objetivo de caracterizar de manera precisa y detallada la roca encajonante del depósito CRD en Yumpag, incluyendo también algunos ejemplares de los Niveles Superiores.

Este análisis permitió establecer una correlación de espesores y ubicaciones a lo largo de la estructura Tomasa, identificando posibles zonas de interés mineralizado. Los resultados se consideran de gran utilidad operativa para optimizar la distribución de futuros sondajes, reduciendo costos operativos en la continuidad de la exploración y en áreas adyacentes como las estructuras Camila, Lili, Sara y Elena. Además, contribuirá al ajuste del modelo del yacimiento por parte del área de Recursos y Modelamiento.

1.7 Justificación

La exploración de depósitos minerales es una actividad dentro de la minería que ha alcanzado mucho realce en los últimos tiempos por la sencilla razón de que la mayoría de los yacimientos existentes y explotados encontrados superficialmente se han agotado; siendo así, en la actualidad son los yacimientos cubiertos los que están generando interés de prospección y potencial exploratorio.

De allí que en la búsqueda de un sistema mineralizado es importante tener una comprensión transversal del yacimiento en sus factores como la génesis, morfología y roca

encajonante propicia para su emplazamiento; factores que toman diferente valía dependiendo del tipo de yacimiento.

Los depósitos polimetálicos tipo CRD son conocidos por albergar mineralización continua de Ag, Zn y Pb con altas leyes controladas estructural y estratigráficamente. En esa línea, el caso del depósito mineral en Yumpag les concede a estos controles notabilidad, ya que se ha podido comprobar la ubicación de los cuerpos de reemplazamiento en ciertos niveles dentro de toda una sección carbonatada. El análisis de facies en los niveles mencionados permite la discriminación de horizontes prospectables dentro del sistema del yacimiento, logrando la definición de la continuidad de la propia estructura y las aledañas, además la columna sedimentaria a nivel de las facies recrea la situación en cada lugar, dado que las facies cambian , son los patrones de apilamiento y elementos arquitecturales los que van a permitir establecer correlaciones más confiables; en consecuencia, todos estos componentes pueden direccionar con mayor precisión la perforación diamantina y permitir a nivel regional la ubicación de nuevos targets en conjunto al control estructural.

De acuerdo con Escalante (2008), en su tesis doctoral sobre los depósitos minerales de Antamina y Uchucchacua, se propone un método estadístico y gráfico para determinar el umbral geoquímico de alteración asociado a las rocas encajonantes que comúnmente rodean los depósitos de skarn. Este método utiliza las composiciones de elementos mayores y traza en mármol, hornfels y caliza para evaluar la influencia de la alteración y la mineralización en la movilidad de los elementos contenidos en las rocas encajonantes, considerando la naturaleza variable del protolito. Este enfoque es válido para depósitos complejos y variables como los mencionados. Sin embargo, Escalante (2008) destaca que, a pesar de la cercanía geográfica entre la mina Uchucchacua y el proyecto Yumpag, este último presenta una configuración estructural menos compleja. En Yumpag, es posible realizar un análisis detallado de las rocas encajonantes utilizando información del subsuelo obtenida mediante sondajes diamantinos,

complementado con un fino análisis sedimentario. Este tipo de estudio es factible en configuraciones poco deformadas y continuas, como es el caso del depósito de reemplazamiento (CRD) en Yumpag.

La presente tesis busca optar al título de Ingeniero Geólogo a través de la investigación de las características de facies sedimentarias en un depósito de reemplazamiento, mediante el análisis de los componentes en la roca encajonante de la Formación Jumasha Superior.

CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

John L. Muntean et al., (2007), en su trabajo: "Replacement Deposits of Silver, Lead, and Zinc in the United States" realizan una revisión detallada de los depósitos de reemplazamiento de plata, plomo y zinc, analizando su geología, características mineralógicas y los controles geológicos, con especial atención a las rocas hospedantes. En el caso del Proyecto Yumpag, vinculado al distrito minero de Uchucchacua, las primeras exploraciones Greenfield comenzaron en 2004, identificándose afloramientos de óxidos de manganeso como indicios de mineralización. Entre 2009 y marzo de 2014, se perforaron aproximadamente 17,900 metros y se realizaron labores subterráneas mediante la Rampa 990, enfocadas en estructuras como Tomasa, Angélica y otras. Aunque en marzo de 2014 se suspendieron las labores, estas se reanudaron en junio tras la aprobación del primer ITS, enfocándose en pruebas metalúrgicas del cuerpo Tomasa-Angélica y la exploración de Camila. A finales de 2014, se perforaron 5,000 metros adicionales, destacando el sondaje YUM14-10, que confirmó el potencial del cuerpo Camila con un corte mineralizado de 23 metros..

Victor Carlotto (2014) en su estudio titulado "Revisión sobre la geología: Sedimentología y tectónica, en los alrededores de la mina Uchucchacua" Analiza las calizas de la Formación Jumasha mediante la clasificación de Dunham, identifica secuencias y megasecuencias sedimentarias, e incluye el análisis de fósiles y una evaluación estratigráfica secuencial. También se describen estructuras tectónicas como corrimientos y fallas de rumbo; a raíz de los cortes geológicos realizados en Camila, se incrementó el interés por estudiar la capacidad de las calizas del Jumasha Superior para albergar mineralización, en contraste con el Jumasha Medio de Uchucchacua. En 2015, bajo la dirección de Rolando Ligarda (2015–2017), se realizó una clasificación detallada de facies en los sondajes de Yumpag, estableciéndose los niveles estratigráficos: Nivel Margoso, Horizonte Beta, Nivel Bioturbado

y Horizonte Gasterópodos, los cuales han sido refinados con el tiempo para mejorar su caracterización.

En el informe sobre el trabajo de integración entre Exploraciones Distritales y Geología de la mina Uchucchacua, realizado por Carlos Sabán (2016) elaboró un informe sobre la integración entre el equipo de Exploraciones Distritales y el área de Geología de la mina Uchucchacua, enfocándose en la estratigrafía secuencial, ciclotemas y microfacies de la Formación Jumasha en los proyectos Yumpag y Uchucchacua. El objetivo fue unificar criterios de logueo y evaluar si el modelo geológico de Yumpag podía aplicarse para identificar horizontes favorables en el Jumasha Medio e Inferior, formaciones asociadas con la mineralización en Uchucchacua; en 2019, tras identificar el cuerpo Camila en el Horizonte Beta, se planificó una campaña de perforación desde la mina mediante la Rampa 4490; sin embargo, esta fue interrumpida por una inundación. Las labores de recuperación se extendieron hasta 2021. En 2020, el sondaje YUM20-191, inicialmente destinado a descartar la estructura Tomasa, descubrió un importante cuerpo de reemplazamiento con sulfuros de Pb-Zn y sulfosales de Ag de alta ley, convirtiéndose en el principal foco de interés para la presente tesis.

Hasta la fecha, se han perforado más de 70,000 metros como parte de diversas campañas de exploración y perforación de relleno (infill drilling), lo que evidencia el alto potencial del área. Con una estimación de más de 130 millones de onzas de plata, el yacimiento podría llegar a clasificarse como de clase mundial.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Depósitos CRD

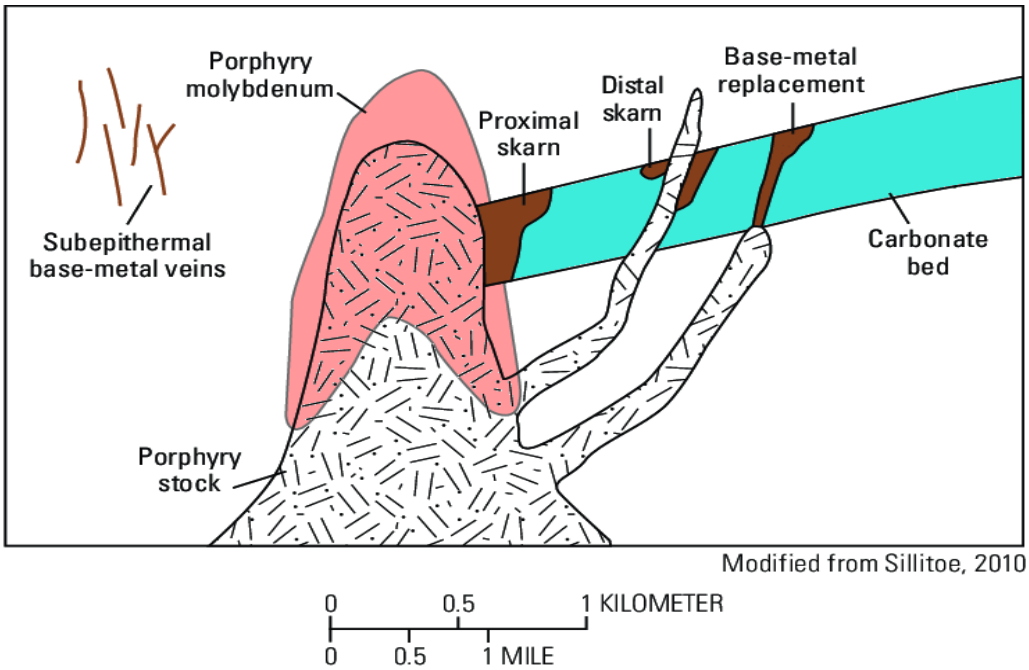
Los Carbonate Replacement Deposits (CRDs) son conocidos también como depósitos de Ag-Pb-Zn (plata, plomo, zinc) hospedados en carbonatos, son epigenéticos relacionados a intrusivos polifásicos a temperaturas entre 200-500°C (Titley, 1996; Megaw, 1998). Un CRD es una acumulación de minerales metálicos formados por la sustitución de rocas sedimentarias,

generalmente carbonatos, por soluciones portadoras de metales en las cercanías de intrusiones ígneas, suelen formarse en una estructura en forma de manto alrededor de los planos de estratificación de la roca, se le conoce comúnmente como un depósito de mineral tipo manto.

Los CRDs (Carbonate Replacement Deposits) son depósitos polimetálicos que pueden contener Cu, Au, Ag, Pb, Mn y Zn; su mineralogía varía según la distancia a la intrusión ígnea, desarrollándose en un rango de hasta 7-8 km desde esta. Según Cox et al. (1987), presentan una zonación característica: Cu-Au cerca de la intrusión, seguida por Pb-Ag y, más alejadas, Zn-Mn; estos depósitos son epigenéticos, ya que se forman cerca de la superficie y no en ambientes volcánicos; a pesar de estar en distintas regiones, los CRD's muestran una gran similitud mineralógica, lo que sugiere procesos de formación comunes y una conexión con sistemas de skarn y pórfidos a gran escala (Zimtu Capital, 2021).

Figura 2

Sección transversal esquemática a través de un depósito de pórfido y las relaciones espaciales con un skarn y reemplazamiento de metales base.



Nota. La figura 2 muestra la sección transversal esquemática a través de un depósito de pórfido y las relaciones espaciales con un skarn y reemplazamiento de metales base. Las vetas subepitermales de metales base ocurren en rocas no carbonatadas, mientras que el reemplazo de metales base y la mineralización skarn ocurren dentro de rocas carbonatadas. Modificado de Ryan D. Taylor (2010). https://acortar.link/b887oJ

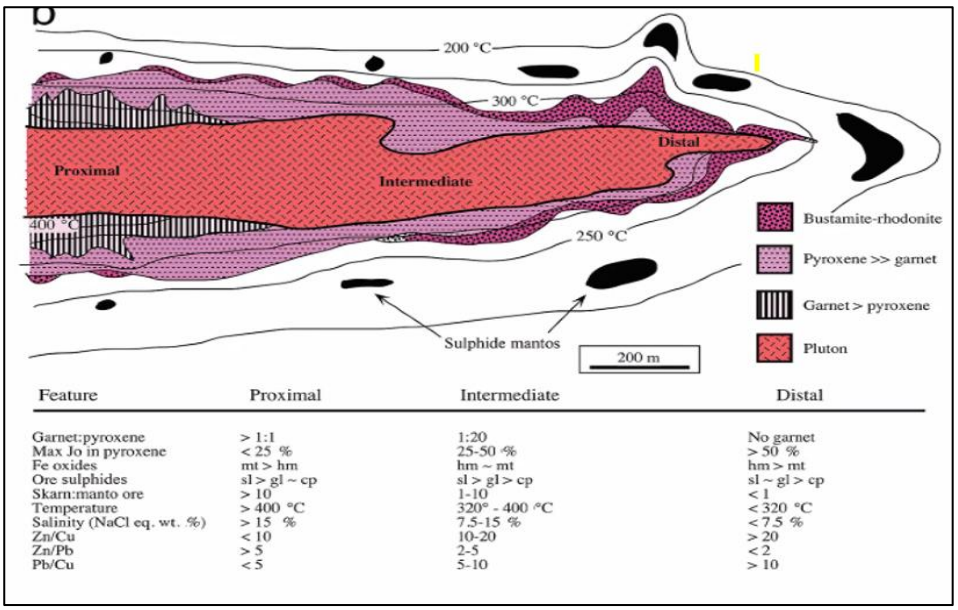
2.2.2 Depósitos Skarn

Los yacimientos tipo skarn son depósitos minerales formados por metamorfismo o metasomatismo en rocas como calizas, influenciados por fluidos magmáticos o metamórficos. Se caracterizan por minerales como granates y piroxenos, con un zonamiento típico que varía del núcleo hacia la periferia; estos depósitos, comunes cerca de plutones, también pueden encontrarse en fallas, zonas de cizallamiento o sistemas geotermales. Se clasifican en siete tipos según el metal predominante: Fe, Cu, Zn-Pb, Au, W, Sn y Mo, y se asocian a minerales como wollastonita y vesuvianita (Meinert L. D., 2005).

A. Skarn de Ca: Es el skarn que tiene como protolito una caliza, el ensamble mineralógico compone de granates, piroxenos, wollastonita, escapolita, plagiocalasa rica en Ca, vesuvianita, epidota, anfíbol, ilvaíta, clorita, prehnita, biotita, cuarzo y carbonatos.
B. Skarn de Mn: Corresponde a la ubicación distal de un skarn de Pb-Zn; como subgrupo de los Skarn de Ca. El ensamble mineralógico es johannsenita, espesartina, rodonita, piroxmangita y bustamita.

Figura 3

Zoneamiento típico de Skarn de Zn, Pb y Mn.



Feature	Proximal	Intermediate	Distal
Garnet:pyroxene	> 1:1	1:20	No garnet
Max Jo in pyroxene	< 25 %	25-50 %	> 50 %
Fe oxides	mt > hm	hm ~ mt	hm > mt
Ore sulphides	sl > gl ~ cp	sl > gl > cp	sl ~ gl > cp
Skarn:manto ore	> 10	1-10	< 1
Temperature	> 400 °C	320° - 400 °C	< 320 °C
Salinity (NaCl eq. wt. %)	> 15 %	7.5-15 %	< 7.5 %
Zn/Cu	< 10	10-20	> 20
Zn/Pb	> 5	2-5	< 2
Pb/Cu	< 5	5-10	> 10

Nota. Extraído y modificado de Workshop on Exploration for Skarn Deposits. Meinert (2020). https://acortar.link/3ns65t

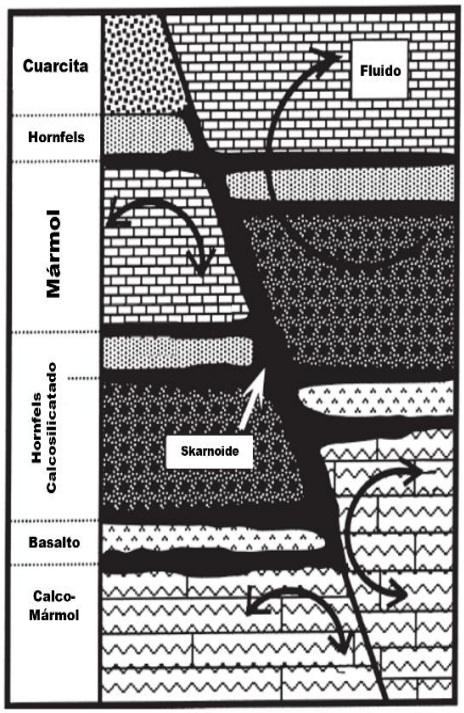
C. Skarn de Mg: El protolito de este skarn es la dolomita, cuyo ensamble mineralógico es olivino, piroxeno, humita, clinohumita, condrita, periclasita, anfíbol, flogopita, clorita, serpentina, talco y brucita.

2.2.3 Skarnoide

El término describe rocas calcosilicatadas de grano fino y bajo contenido de hierro, cuyo control composicional proviene del protolito (Korzhinskii, 1946; Zharikov, 1970); desde una perspectiva genética, el skarnoide es una formación intermedia entre hornfels metamórfico y skarn metasomático, caracterizado por su color claro y bajo contenido de hierro, influenciado por la composición de sus protolitos sedimentarios; a diferencia de los skarns económicamente importantes, que se forman por procesos metasomáticos a gran escala, el skarnoide depende de la composición y textura del protolito, mientras que en los skarns de mena, los fluidos y las vías de infiltración determinan tanto la formación como su mineralogía. (Meinert L. D., 2005)

Figura 4

Tipos de formación de Skarn



Nota. La figura muestra los tipos de formación de Skarn. Skarnoide se forma a partir del metamorfismo de litologías impuras con cierta transferencia de masa mediante movimientos de fluido a pequeña escala. Modificado de Variability of skarn deposits. Meinert (1983).

2.2.4 Facies sedimentarias

Según Gressly (1838), la facie es el conjunto de características litológicas y faunísticas que distingue una unidad estratigráfica de las adyacentes (Arche, 2010). Para Selley (1970), se trata de un conjunto de rocas sedimentarias que puede diferenciarse de otras por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, paleocorrientes y contenido fósil. En la definición de Raymond Moore, una facie es una porción localizada de una unidad estratigráfica con características significativamente distintas del resto de la unidad. (Moore, 1949)

Para definir y describir facies, es fundamental ser imparcial y basarse en datos recopilados en campo, tales como observaciones de rocas, imágenes de pozos y testigos de perforación, como en el caso del presente trabajo; una descripción adecuada de una facie requiere combinar información geométrica (como espesor y forma de los estratos) con datos sobre sedimentos y rocas, tales como litología, textura, estructuras sedimentarias, fósiles, color, entre otros. (Vera, 1994)

2.2.5 Asociación de Facies Sedimentarias

Una asociación de facies es un conjunto de facies sedimentarias similares, interpretadas como producto de un proceso sedimentario común en un entorno geológico específico; estas asociaciones agrupan facies con una génesis común, reflejando un medio o proceso sedimentario determinado; siguiendo el principio de uniformismo, se puede concluir que hay un número limitado de medios y procesos que generan facies características, y estos se agrupan en modelos de sedimentación que sirven como referencia para interpretar facies y definir secuencias verticales. (Arche, 2010)

La agrupación de facies en asociaciones de facies permite una mejor comprensión de la distribución espacial y temporal de los sedimentos, así como de los procesos que los han influenciado; estas asociaciones de facies son utilizadas para reconstruir los ambientes de deposición.

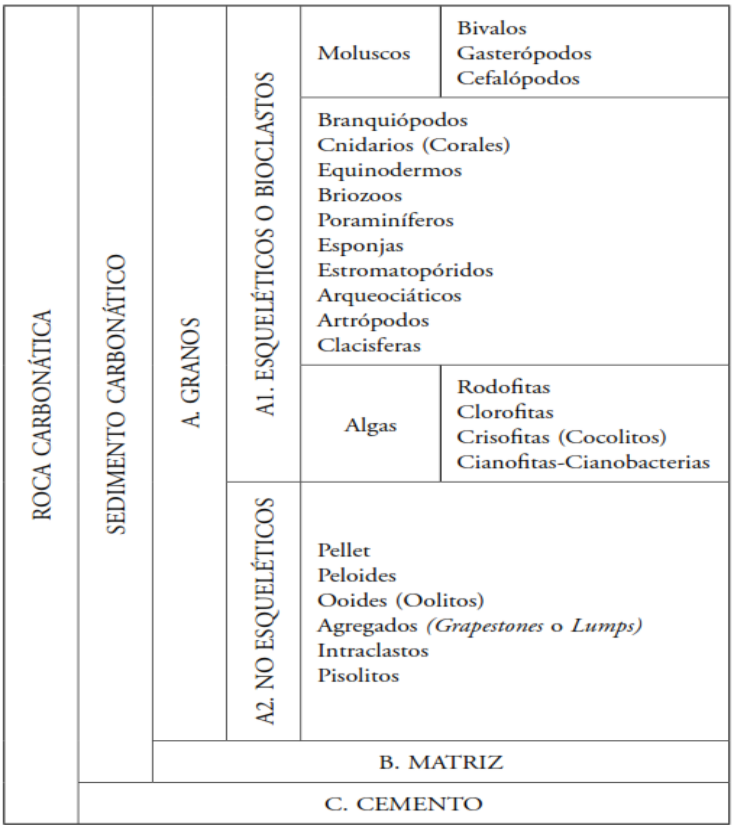
2.2.6 Sedimentos carbonatados

Las facies sedimentarias se forman en un mismo entorno de deposición, por lo que su análisis debe considerar tanto los parámetros físicos como los indicadores del régimen hidráulico, como las estructuras sedimentarias, las texturas y la fábrica; además, es crucial tener en cuenta la naturaleza de las partículas sedimentarias que componen estos sedimentos; estas partículas pueden originarse de varios procesos, como la precipitación directa del agua de mar, la precipitación por organismos o la desintegración de los esqueletos de organismos; los diferentes procesos de formación de las partículas afectan directamente las características y propiedades de los sedimentos carbonatados, influyendo en las características finales de las facies. (Arche, 2010)

2.2.7 Componentes texturales

Figura 5

Componentes texturales principales de materiales carbonáticos



Nota. Extraído y modificado de Mas y Alonso (1989)

A. Granos: En la interpretación de la génesis de ciertos componentes de las rocas carbonatadas, como los oolitos o fangos micríticos, existen dificultades que impiden clasificarlos de manera sencilla como orgánicos o inorgánicos; para evitar esta ambigüedad, se hace una distinción entre componentes esqueléticos y no esqueléticos; los componentes no esqueléticos son aquellos granos que no parecen haber sido precipitados como partes esqueléticas, según Illing (1954), sin embargo, esta clasificación no implica que estos granos no hayan sido esqueléticos en algún momento ni que sean exclusivamente inorgánicos.

B. Matriz: La matriz de una roca es el componente textural fino, compuesto principalmente por micrita, cristales microcristalinos de carbonato de calcio menores a 4 micras; en lugares como las Bahamas, la descomposición de algas calcáreas verdes, como Penicillus, contribuye a la formación de fangos micríticos, liberando agujas de aragonita al morir. Sin embargo, determinar el origen de la micrita en rocas antiguas es complejo debido a su susceptibilidad a la diagénesis, que puede alterar su composición; durante los océanos aragoníticos, la desintegración de algas calcáreas fue probablemente la principal fuente de micrita, aunque otros procesos también podrían haber contribuido; en mares calcíticos, la micrita probablemente proviene de partículas carbonáticas derivadas de material esquelético. (Arche, 2010)

C. Cemento: El cemento es el tercer componente textural de las calizas, compuesto principalmente por calcita cristalina, conocida como esparita; este cemento se presenta en varias formas, como el cemento drúsico, blocky, entre otros; en ambientes marinos, especialmente durante la diagénesis temprana, el cemento puede estar formado por calcita microcristalina rica en magnesio, conocida como cemento micrítico o micrítico-peloidal, o incluso por aragonito, que se presenta en formas como cemento botroidal, fibroso o acicular. El término "esparita" se utiliza para describir la

cementación de cristales de carbonato en espacios porosos intergranulares o cavidades originales; por otro lado, las recristalizaciones provenientes de carbonatos preexistentes se denominan "esparita neomórfica" o, más comúnmente, "pseudoesparita".

El cemento esparítico presenta varios caracteres:

- Se precipita entre los granos de la roca o dentro de cavidades originales.
- Tiene un aspecto claro y contiene pocas inclusiones.
- Los límites entre los cristales de cemento son planos o rectilíneos.
- Exhibe una estructura de fábrica drúsica, lo que implica que los cristales de cemento crecen a partir del sustrato o pared de la roca.
- Los ejes ópticos de los cristales de cemento tienden a orientarse preferentemente de manera perpendicular al sustrato.

2.2.8 Clasificación de rocas carbonatadas

A. Clasificación de Folk (1959, 1962): El material se puede distinguir en tres componentes:

- Aloquímicos: Estos componentes se refieren a las partículas o granos presentes en la roca.
- Matriz: La matriz, en su mayoría compuesta por micrita, es un componente fundamental en la roca.
- Cemento: El cemento, principalmente en forma de esparita drúsica, es otro componente importante en la roca.

La clasificación de calizas según Maurice E. Tucker utiliza prefijos abreviados para identificar el aloquímico dominante: "bio-" (granos esqueléticos), "oo-" (ooides), "pel-" (peloides) e "intra-" (intraclastos), seguidos por "micrita" o "esparita" según el cemento presente. Si hay dos aloquímicos dominantes, se combinan los prefijos (ej. "biopelesparita");

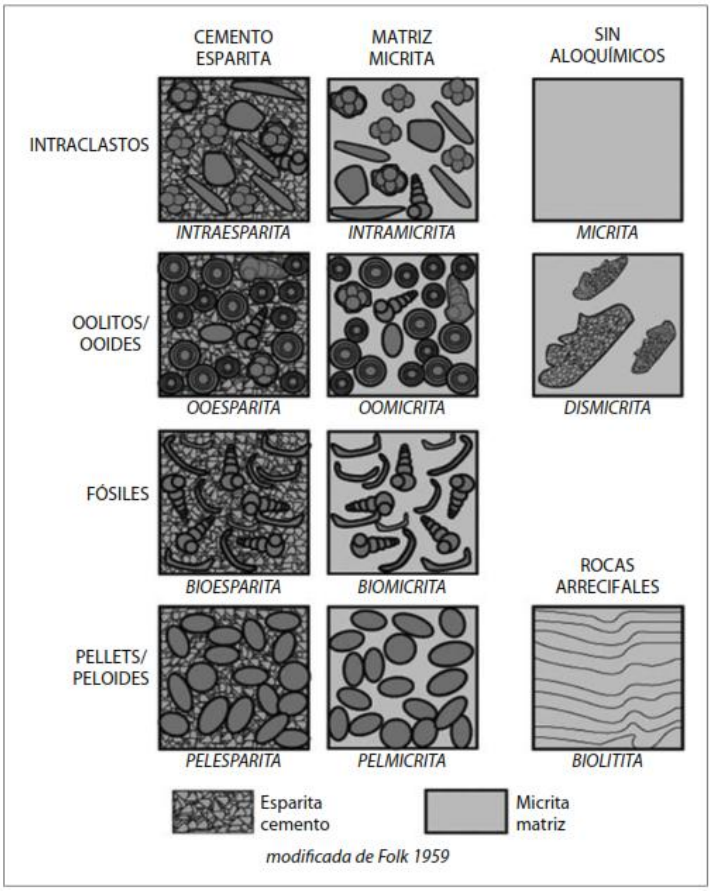
para calizas con granos gruesos, se añade el sufijo "-rudita" (ej. "bioesparrudita"). Además, se incluyen términos como "biolitita" (caliza formada in situ por organismos) y "dismicrita" (micrita con cavidades rellenas de esparita). (Tucker, 1990)

B. Clasificación de Dunham (1962): El material se puede distinguir en tres componentes:

- Grainstone: Esta categoría se refiere a las calizas que consisten en granos sin matriz. Un ejemplo sería una bioesparita u oo-esparita según la clasificación de Folk.

Figura 6

Clasificación de las calizas de acuerdo a su composición



Nota. La figura muestra la clasificación de calizas basada en su composición según Folk (1959, 1962). Modificada de Tucker, Sedimentary Petrology. An Introduction (1981)

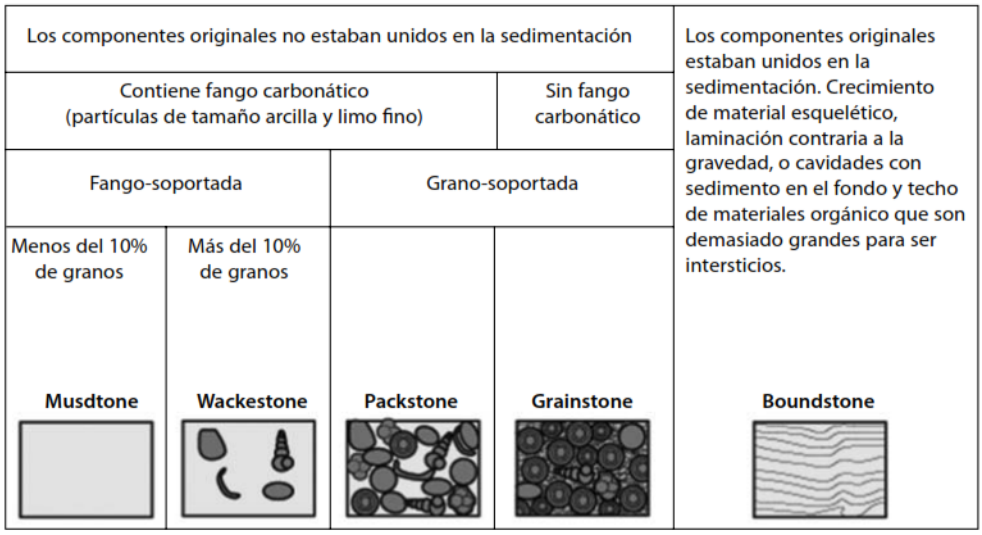
- Packstone: En esta categoría, los granos están en contacto con una matriz. Una biomicrita según la clasificación de Folk es un ejemplo de esto.
- Wackestone: Esta categoría describe las calizas en las que los granos están flotando en una matriz. También se incluye una biomicrita de Folk en esta categoría.

- Mudstone: Se refiere a calizas compuestas principalmente por micrita, con pocos granos.
- Boundstone: Esta categoría se aplica a calizas que contienen una estructura orgánica de sujeción, como corales o algas formando un esqueleto.

Estas categorías de Dunham se utilizan para describir las diferentes texturas y características de las calizas en función de la disposición de los granos y la presencia de matriz y componentes orgánicos.

Figura 7

Clasificación de las calizas de acuerdo a su textura



Nota. La figura muestra la clasificación de calizas basadas en su textura. Extraído de Classification of Carbonate rocks according to depositional texture por Dunhan (1962).

C. **Bioclastos o Clastos Esqueléticos:** Son granos esqueléticos en las calizas, originados por organismos con esqueletos calcáreos; se clasifican según su tamaño, forma y mineralogía, y su interpretación requiere considerar los efectos diagenéticos; en la zona de estudio, se identifican bioclastos de bivalvos, foraminíferos, gasterópodos, equinodermos, ostrácodos, algas rojas y verdes, y briozoos.

2.2.9 Granos no Esqueléticos

Los granos no esqueléticos son aquellos que no provienen del material esquelético de microorganismos, invertebrados o tallos de plantas calcáreas; según Folk (1959), se distinguen

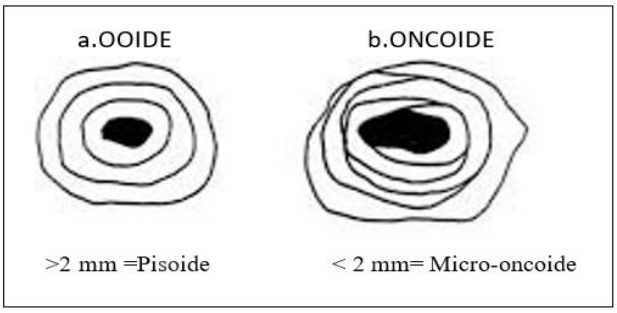
principalmente cuatro tipos: granos revestidos, peloides, agregados y clastos. Flügel (1982) y Richter, (1983) adoptaron un enfoque más descriptivo al tratar los términos ooide y oncoide en sus clasificaciones; las definiciones siguientes están adaptadas de las proporcionadas por estos autores, destacando la naturaleza de la estructura laminar cortical y su continuidad.

A. **Oolitos/Ooides:** Son granos esféricos o elipsoidales con un núcleo de composición variable, cubiertos por una capa calcárea laminada, que tiende a ser más delgada cerca del núcleo; generalmente, carecen de estructuras biogénicas visibles o estas son mínimas.

B. **Pisoide:** El término pisoide se utiliza principalmente en la petrografía de carbonatos, pero no existe un consenso general sobre su definición; Flügel (1982) lo mencionó para referirse a un ooide no marino, mientras que la mayoría de los investigadores lo han definido como un ooide con un diámetro mayor a 2 mm; debido a su tamaño superior respecto a los ooides, típicamente presentan una laminación menos regular.

Figura 8

Ooide y Oncoide



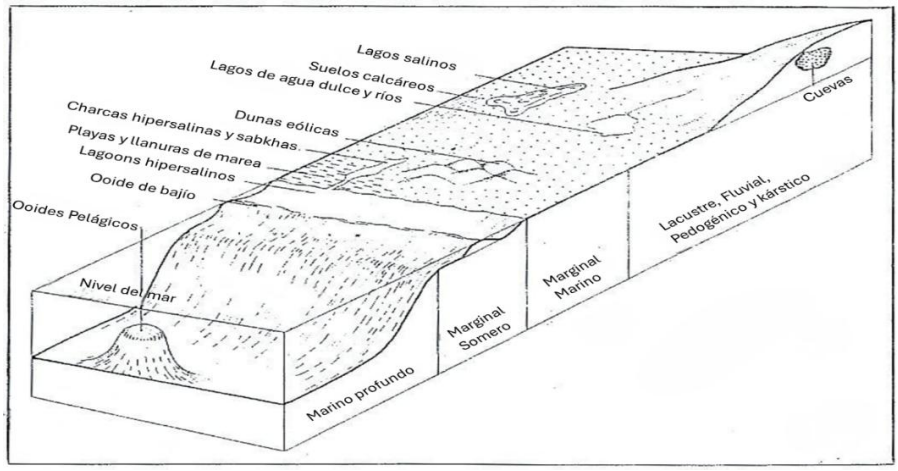
Nota. a. La cubierta es suave y tiene un laminado uniforme, típicamente de forma esférica a elipsoidal. b. La cáscara está compuesta por láminas que se superponen de manera irregular, generalmente con una apariencia irregular. Se observan con frecuencia características biogénicas. Extraído y Modificado de Sedimentología de Carbonatos (Carbonate Sedimentology) por Tucker, Wright (1990).

C. **Ambiente:** Los pisoides y ooides se originan en una variedad de entornos, como mares someros, albuferas, lagos, ríos e incluso suelos calcáreos; su presencia indica zonas con disponibilidad de carbonato de calcio, pero no necesariamente condiciones ambientales

específicas; se caracterizan por la precipitación regular de capas concéntricas uniformes (isópacas) (Tucker; Wright, 1990).

Figura 9

Lugares de formación de granos revestidos



Nota. Extraído y Modificado de Sedimentología de Carbonatos (Carbonate Sedimentology) por Tucker, Wright (1990).

D. **Oncoide:** Son granos con cáscara calcárea de laminado irregular y forma generalmente irregular; pueden tener estructuras biogénicas y, en algunos casos, carecer de un núcleo definido; están asociados principalmente a la actividad de cianobacterias y se forman en ambientes muy someros, como zonas costeras marinas, donde su morfología refleja las condiciones energéticas del entorno.

E. **Peloides/Pellets:** Son granos de carbonato microcristalino de tamaño arenoso (100–500 μm), generalmente redondeados y sin estructuras internas; el término, de uso puramente descriptivo, fue introducido por McKee y Gutschick en 1969; comunes en ambientes marinos someros y de baja energía, como lagunas, los peloides son componentes importantes de los sedimentos carbonatados en zonas restringidas.

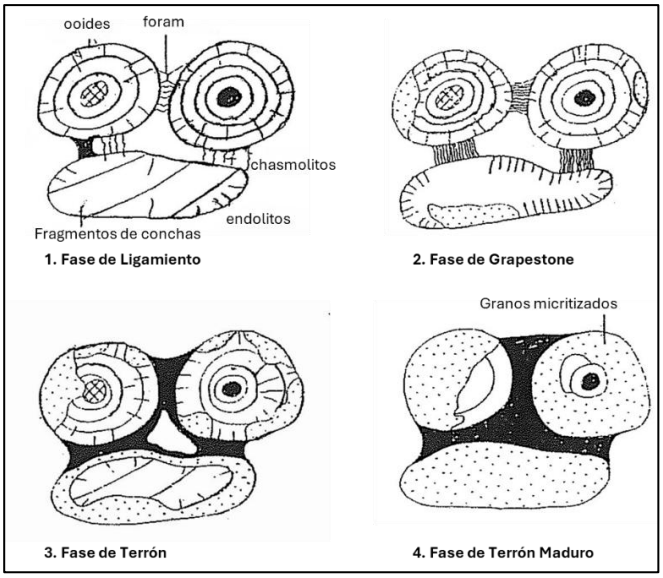
F. **Agregados Granulares:** Son agrupaciones consolidadas de partículas carbonatadas, de formas irregulares y tamaños entre 0.5 y 3 mm, compuestas por granos micritizados; se clasifican en tipos como grapestones (ooides micritizados con forma de racimos), lumps (contornos suaves, a veces con interior hueco) y lumps botroidales (similares, pero con

recubrimiento oolítico); su diferenciación genética es poco clara, y pueden evolucionar hacia peloides grandes o clastos por pérdida de estructuras internas (Illing, 1954)

G. Clastos: Otra categoría de fragmentos no esqueléticos en los sedimentos son los clastos de caliza, que son fragmentos de sedimentos carbonatados cementados. Estos clastos incluyen dos tipos principales: los intraclastos y los litoclastos (extraclastos). Los intraclastos, según Folk (1959), son fragmentos retrabajados de sedimentos normalmente blandos cementados dentro del área de deposición; la acción de las tormentas sobre los sedimentos submareales puede reorganizarlos, creando intraclastos y formando superficies de litificación primaria (hardgrounds).

Figura 10

Formación de grapestones y lumps



Nota. La formación de grapestones y lumps ocurre en cuatro fases. En la Fase 1, los granos del sedimento se agrupan por acción de foraminíferos, filamentos microbianos y mucílagos, mientras microorganismos chasmolíticos y endolíticos interactúan con los granos. En la Fase 2, se produce la calcificación microbiana, formando un agregado cementado (grapestone) y comenzando la micritización. En la Fase 3, la cementación microbiana se intensifica entre los granos, suavizando la superficie y originando los lumps. En la Fase 4, se rellenan cavidades internas, resultando en un agregado denso, micritizado y con posible reemplazo mineral (1990).

Los litoclastos o extraclastos son fragmentos de litologías que no provienen del área deposicional cercana, como un clasto de grainstone bioclástica con trilobites en una caliza del

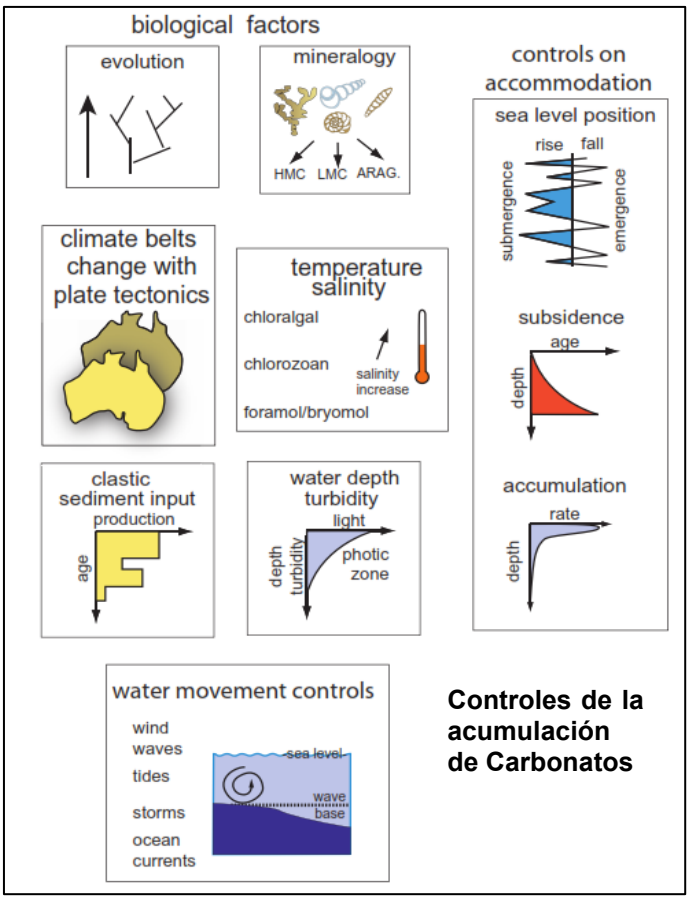
Terciario; estos términos son descriptivos, no interpretativos, y dado que puede ser difícil distinguir entre intraclastos y extraclastos con muestras limitadas, se recomienda usar el término general "clasto calizo" o "clasto de caliza".

2.2.10 Sedimentación carbonatada

Los factores clave que influyen en la deposición de carbonatos son los procesos geotectónicos y el clima, los cuales, juntos, controlan el nivel del mar; estos elementos no solo determinan la formación y facies de los carbonatos, sino que también son esenciales para entender las calizas a partir de estudios de carbonatos modernos. (Arche, 2010)

Figura 11

Principales factores que controlan la formación de sucesiones carbonatad as en plataformas



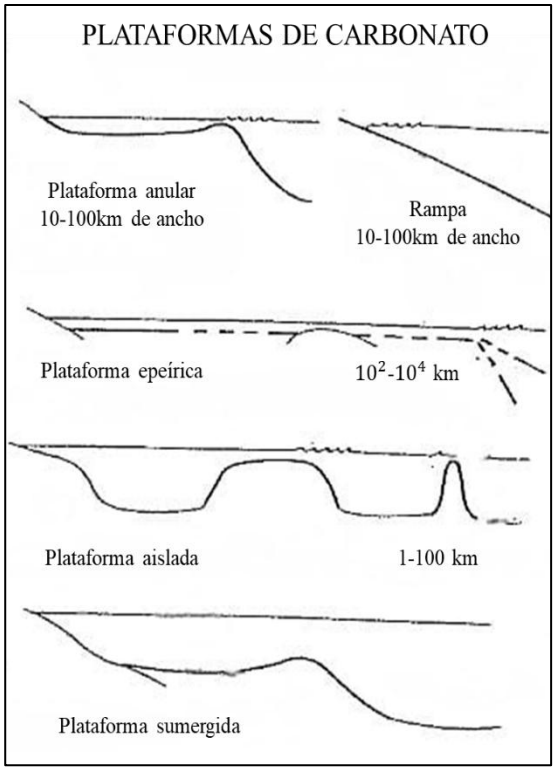
Nota. Extraído y modificado de Shallow carbonate platforms por Jones y Desrochers (1992)

A. **Contexto Geotécnico:** Es clave en la formación de carbonatos, ya que influye en la ausencia de sedimentos silicoclásticos, los cuales diluyen el carbonato y afectan su producción, especialmente en los arrecifes; la geotectónica controla la disposición de la

sedimentación y define cinco tipos principales de plataformas carbonatadas: plataforma, rampa, plataforma epeírica, aislada y sumergida, cada una con facies características; estos emplazamientos pueden alterarse por tectonismo, cambios en el nivel del mar o variaciones en la sedimentación carbonatada (Arche, 2010).

Figura 12

Plataformas carbonatadas



Nota. La figura muestra el esquema de las categorías de plataformas carbonatadas. Extraído y Modificado de Sedimentología de Carbonatos (Carbonate Sedimentology) por Tucker y Wright (1990).

B. Nivel del Mar: El nivel del mar es fundamental en la sedimentación de carbonatos, ya que durante períodos de alto nivel se depositan secuencias más extensas y gruesas; su posición está influenciada por los volúmenes de las cuencas oceánicas y el hielo glaciar, controlados por la geotectónica y el clima; las fluctuaciones del nivel del mar afectan significativamente la sedimentación carbonatada, con ciclos que varían desde grandes ciclos de primer orden (de cientos de millones de años) hasta ciclos de quinto orden (en escalas de decenas de miles de años).

C. **Clima:** El clima y la geotectónica influyen en factores ambientales clave como la circulación del agua, temperatura y salinidad, que afectan la formación de carbonatos. En regiones tropicales, corales y algas verdes son los principales productores de carbonato, mientras que en latitudes altas, moluscos y algas rojas calcáreas lo hacen; la temperatura y salinidad controlan la distribución de organismos marinos que secretan carbonatos, con clorozoos en áreas cálidas y foramoles en aguas frías; los ooides y agregados se encuentran en zonas subtropicales, con temperaturas superiores a 18°C y alta salinidad, mientras que en entornos con fluctuaciones, la diversidad es baja pero la abundancia puede ser alta. Existen dos principales asociaciones de organismos en los ambientes someros (<100 metros de profundidad):

- Foramoles: en aguas templadas
    - Moluscos
    - Cirrípedos (Balanos, percebes)
    - Briozoos
    - Algas rojas calcáreas
- Clorozoos: En aguas cálidas
    - Corales hermatípicos
    - Algas verdes calcáreas
    - Foraminíferos bentónicos
    - Moluscos
    - Briozoos
    - Algas rojas calcáreas
- Asociacionaes coral – algales:

D. **Profundidad y turbiedad:** Según Arche (2010) la profundidad y turbidez son factores clave en la sedimentación de carbonatos en ambientes marinos poco profundos; la

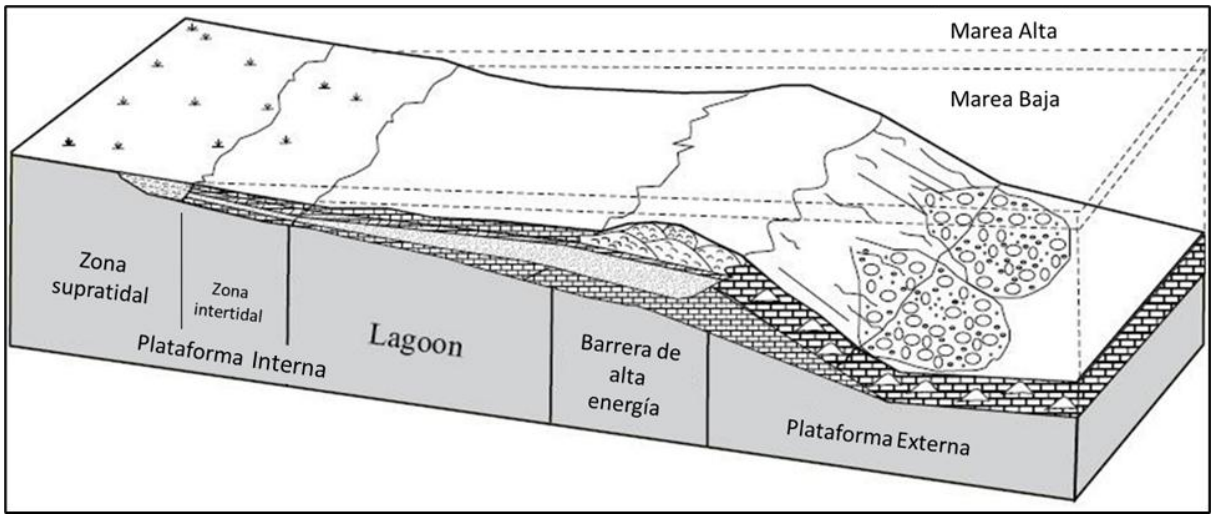
mayor productividad orgánica, especialmente de algas verdes codiáceas, ocurre a menos de 10-15 metros de profundidad, donde se forman los carbonatos; aunque algunos corales crecen a mayores profundidades, la mayoría de los carbonatos esqueléticos se producen en aguas de menos de 5 metros; la turbidez, causada por arcilla o carbonato suspendido, reduce la luz en el fondo marino, afectando la fotosíntesis de las algas calcáreas y el crecimiento de organismos bentónicos (Tucker & Wright, 1990).

2.2.11 Plataformas Carbonatadas

Aunque a lo largo del tiempo diversos autores como Ahr (1973), Ginsburg & James (1974) y Read (1982, 1985) han empleado distintos términos para describir los ambientes de deposición de carbonatos, en años recientes ha surgido un consenso general en el uso del término "plataforma carbonatada" para describir secuencias de carbonatos en aguas someras, desarrolladas en diversos contextos tectónicos como márgenes pasivos, cuencas intracratónicas, marginales y de antepaís.

Figura 13

Modelo deposicional para facies de carbonatos del Cretácico Superior en la Unidad Sadr del área de Nakhlak



Nota. Extraído y modificado de Análisis de facies y ambientes depositacionales de la unidad Sadr del Cretácico Superior en el área de Nakhlak por Hamid et al. (2012). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742012000200007

A. **Zona Supratidal:** Incursión marina macrotidal, trae consigo fango micrítico y clastos, (restos de conchas, intraclastos, etc), usualmente inicia la evaporación y precipitan sales, posteriormente los cristales de evaporitas con grandes nódulos dentro de una micrita, y finalmente se tiene en la parte colmatada superior donde precipita el conjunto de las sales disueltas en el agua formando una capa de evaporitas.

B. **Zona Intertidal:** Se caracteriza por huellas de corrientes marinas antagónicas y sedimentos de lodos micríticos con laminaciones planares o entrecruzadas, como flaser bedding, herring bones y lenticular bedding, a menudo acompañados de capas de algas; en los canales de marea, se acumulan intraclastos de micrita debido a la destrucción de los bordes del canal; también se presentan facies de playa con granulometría elevada, como oolitos y bioclastos.

C. **Plataforma Interna:** Se caracteriza por una sedimentación tranquila de calizas (mudstone, wackestone) asociadas a fauna y flora marina, en el límite intertidal, se encuentran calizas tipo packstone debido a la mayor agitación; en el centro, donde la agitación es menor, predominan calizas mudstone con pocos granos; cerca de la barrera, con mayor energía, aparecen calizas de grano como wackestone, packstone y grainstone; la baja agitación favorece un ambiente reductor con poca oxigenación, lo que facilita la descomposición de organismos y la formación de materia orgánica, convirtiendo estas calizas en buenas rocas madre o rocas sello.

D. **Barrera de Alta Energía:** Es el área del fondo marino con mayor agitación, donde los esqueletos de animales muertos se fragmentan; solo algunas especies, como ciertos corales, ostras y rudistos, sobreviven a esta turbulencia; la fuerte agitación elimina la micrita, dejando sedimentar elementos que forman rocas calizas como grainstones bioclásticos, oolíticos y boundstone; la estratificación en esta zona presenta estructuras

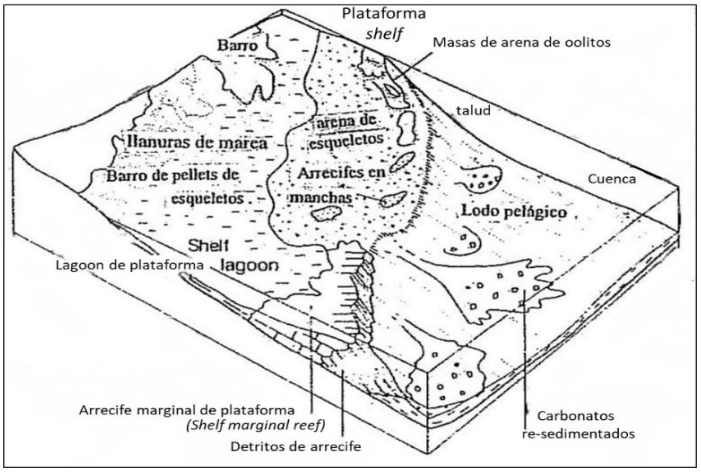
oblicuas; las calizas de la barrera de alta energía son excelentes rocas reservorio para hidrocarburos o fluidos.

E. **Plataforma Externa o Mar Abierto:** Se caracteriza por una mayor salinidad, lo que limita la adaptación de animales y plantas; los pocos organismos que sobreviven en estas condiciones se desarrollan en gran número, pero con baja diversidad; existen varios tipos de plataformas carbonatadas, como la plataforma anular, la rampa, la plataforma epeírica, la plataforma aislada y la plataforma sumergida, cada una con subtipos específicos.

- **Una plataforma anular,** es una área de aguas someras con un borde abrupto hacia aguas más profundas; en su margen, se encuentran arrecifes barrera o bajíos de arena oolítica, que restringen la circulación en la laguna interior; algunas plataformas anulares tienen cuencas profundas detrás de su borde.

Figura 14

Modelo de deposición de plataforma anular carbonatada

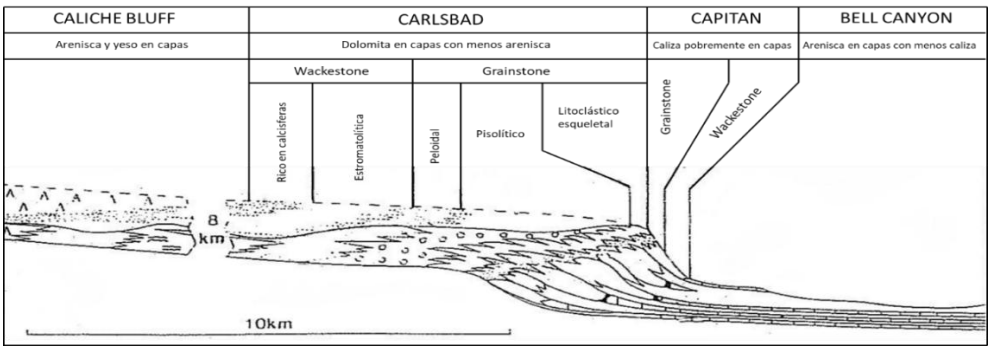


Nota. Extraído y modificado de Calcitized aragonite ooids and cements from the Late Precambrian Biri Formation of southern Norway por Tucker (1985).

Las anchuras típicas de las plataformas anulares suelen ser alrededor de 100 kilómetros. Estas plataformas pueden clasificarse en tipos de acreción, desviación y erosión. Ejemplos modernos incluyen la Plataforma de Queensland frente a la costa este de Australia con el Gran Arrecife Barrera, la Plataforma Sur de Florida y la Plataforma de Belice.

Figura 15

Facies sedimentaria de una plataforma carbonatada del complejo Capitán Carlsbad

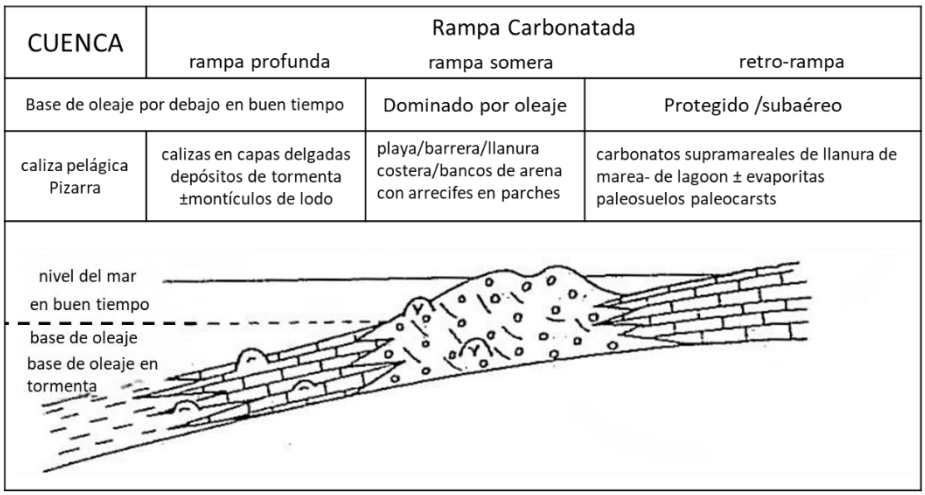


Nota. La figura muestra la Facies sedimentaría del complejo Capitán-Carlsbad (Guadalupiense Superior, Pérmico) de las Montañas de Guadalupe, oeste de Texas y Nuevo México extraído de Dynamic stratigraphy: An introduction to sedimentation and stratigraphy por Matthews (1984) basado en el trabajo de Dunham.

F. Una Rampa carbonatada: Es una superficie inclinada suavemente donde las facies arenosas de las zonas costeras se convierten gradualmente en facies lodosas en aguas más profundas; se caracterizan por montículos de lodo y pináculos de arrecife, y en su base se observan perfiles empinados; son geomorfológicamente similares a plataformas de sedimentos siliciclásticos y se encuentran en lugares como la Costa Trucia, la costa de Yucatán y la Bahía del Tiburón.

Figura 16

Modelo de deposición de rampa carbonatada

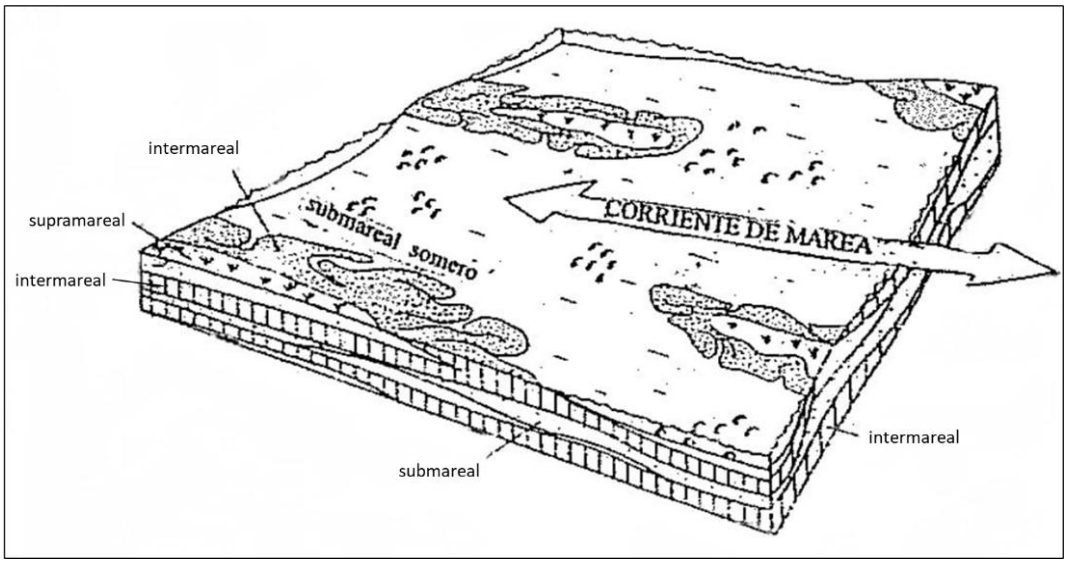


Nota. Extraído y Modificado de Sedimentología de Carbonatos (Carbonate Sedimentology) por Tucker y Wright (1990).

G. **Las plataformas epeíricas:** Son grandes áreas cratónicas (de 100 a 10,000 kilómetros de ancho) relativamente planas y cubiertas por un mar poco profundo; estas plataformas pueden tener un borde con pendiente leve (seudo rampa) o pronunciada (seudo plataforma), que puede estar rodeado por arrecifes barrera y bajíos de arena caliza, aunque esto no es una característica esencial; se caracterizan por facies someras de baja energía, tanto submareales como intermareales, y son comunes los ciclos somero-ascendentes en la llanura de marea; aunque no existen ejemplos modernos a gran escala, el interior del Gran Banco de las Bahamas y la Bahía de Florida pueden considerarse análogos; las plataformas epeíricas también pueden albergar cuencas de agua profunda en su interior, rodeadas por rampas y plataformas anulares.

Figura 17

Modelo de plataforma Epeírica



Nota. La figura muestra la plataforma del mar Epeirico (shelf) modelo de deposición involucrando islas del relieve bajo orientadas paralelo a las corrientes de la marea, Las secuencias producidas como resultado de este tipo de deposición son lateralmente normalmente los submareal discontinuos, intermareal y depósitos del supramareal colocados en las unidades somero-ascendentes. Extraído de Pratt y James (1986) , creado para el Cambro-Ordovicico del Grupo St George de Newfoundland.

H. **Las plataformas aisladas:** Son áreas de aguas someras con lados empinados, rodeadas por aguas profundas; la distribución de las facies en estas plataformas está influenciada por la dirección predominante de los vientos y tormentas. Un ejemplo de estas plataformas son las pequeñas plataformas frente a la costa de Belice; un tipo específico son los atolones, que tienen un margen de arrecife anular que rodea una laguna central más profunda. Los atolones oceánicos verdaderos tienen un origen volcánico.

I. **Las plataformas sumergidas:** Son plataformas antiguas (rampas, llanuras mareales anulares, plataformas aisladas y epeíricas) que han experimentado un aumento rápido del nivel del mar, lo que ha provocado la deposición de facies de aguas profundas sobre calizas formadas originalmente en aguas someras; las plataformas sumergidas incipientes tienen una profundidad moderada, permitiendo la recuperación del sistema si las tasas de producción de sedimentos son altas.

2.2.12 Modelos de Facies Deposicionales

Un modelo de facies es un resumen generalizado de un sistema deposicional dado (Walker & James, 1992); los modelos de facies carbonatadas resaltan la importancia de los patrones de distribución controlados por el ambiente y los organismos, proporcionando una visión general para el análisis de facies en calizas; estos modelos actúan como normas de comparación, marcos guía para futuras observaciones, predictores de nuevas situaciones geológicas y bases integradas para el sistema que representan; los modelos de facies se dividen en conceptuales, dinámicos y numéricos; para el desarrollo de esta tesis, se enfocará en los modelos conceptual y dinámico aplicados a la Formación Jumasha Superior en la zona de estudio.

A. Modelo conceptual de facies carbonatadas

- Un modelo de facies depositacional es la esencia de los criterios y controles extraídos de estudios de caso de sedimentos modernos y antiguos.

- Las zonas de facies (FZ) son cinturones diferenciados de acuerdo con los cambios de criterios sedimentológicos y biológicos a lo largo de transectos de plataforma-talud-cuenca.
- Los tipos estándar de microfacies (SMF) se derivan de tipos locales de microfacies observando criterios paleontológicos y/o sedimentológicos conjuntos. Las asociaciones de SMF son criterios adicionales para reconocer zonas de facies antiguas.

Los primeros modelos de facies para rocas carbonatadas fueron conceptuales, diseñados para representar la distribución de diferentes tipos de rocas y biota desde la costa hasta la cuenca; estos modelos, influenciados por estudios en regiones subtropicales y tropicales, eran estáticos y se basaban en características cualitativas de las facies, como rasgos distintivos; la interpretación de estas facies es subjetiva, ya que depende de la selección de rasgos relevantes y de la consideración de aspectos como textura, granos, biota fósil, estructuras sedimentarias y diagenesis.

Wilson (1975) desarrolló el Modelo de las Zonas de Facies (ZF) en plataformas carbonatadas tropicales con borde, a partir de las sucesiones observadas en los cinturones de facies del Holoceno y Fanerozoico; este modelo influyó en la interpretación de litofacies y biofacies como indicadores de zonas de facies y condiciones deposicionales basado en las generalizaciones de Flügel (1972) sobre microfacies en los carbonatos triásicos, Wilson introdujo los "Tipos de Microfacies Estándar" (SMF), un sistema que clasifica 24 microfacies estándar en nueve bandas de facies, cada una asociada a un ambiente particular.

Tabla 2

Tipos de micro facies estándar

Tipo SMF	Litología	Ambiente	Zona de Facie
1	Espiculíta. Mudstone (limolita) arcilloso oscuro o wackestone, rico en materia orgánica, o calcisiltita espiculítica silícea, Espículas frecuentemente orientadas, generalmente monaxones silíceos, normalmente reemplazados por calcita.	De cuenca, ambiente de agua profunda con sedimentación lenta.	FZ1
2	Calcisiltita microbioclástica. Bioclaslos pequeños y peloides en una grainstone o packstone de tamaño de grano muy fino; laminación cruzada en ripple de pequeña escala.	Plataforma de mar abierto cerca de la pendiente más baja, margen más profundo de la plataforma	FZ2

Tipo SMF	Litología	Ambiente	Zona de Facie
3	Mudstone (limolita) y wackestone pelágico. Matriz micrítica que contiene microfósiles pelágicos esparcidos (e.g. radiolarios o globigerínidos) o megafauna (e.g. graptolitos o fragmentos de bivalvos de concha delgada).	Como 1 y 2	FZ1-FZ2
4	Microbrecha o packstone bio-lito/clástica. Granos redondeados, a menudo gradados. De origen polimíctico o monomíctico. También cuarzo,cherts, y detritos carbonatados.	Talud de la ladera sumergida (de un atolón); calizas resedimentadas.	FZ-3
5	Grainstone-packstone o floatstone con bioclastos de arrecife. Sedimentos geopetales.	Facies de flanco de arrecife.	FZ-4
6	Rudstone de arrecife; sin material de matriz.	Pendiente del frente del arrecife, restos de arrecife; normalmente en zona de gran energía.	FZ-4
7	Boundstone. Subtipos de framestone, bindstone, o bafflestone.	Arrecife, a menudo se encuentra en márgenes de plataforma.	FZ-5
8	Wackestone con organismos enteros. Infauna y epifauna bien conservada.	Albuferas (lagoon) de plataforma con circulación; aguas de baja energía por debajo del nivel de base normal del oleaje.	FZ-7
9	Wackestone bioclástico o micrita bioclástica, Fragmentos de diversos organismos, bioturbada. Los bioclastos pueden estar micritízados.	Aguas someras con circulación abierta cerca del nivel de base.	FZ-7
10	Packstone-wackestone con bioclastos recubiertos y desgastados.	Inversión textura]; las partículas dominantes de ambientes de alta energía han descendido por pendientes locales a emplazamientos de baja energía.	FZ-6
11	Grainstones con bioclastos recubiertos, en cemento de espato.	Arenas aventadas de borde de plataforma; áreas con constante acción de oleaje en o sobre el nivel de base.	FZ-6
12	Coquina, packstone bioclástico, grainstone o rudstone con concentraciones de organismos. Dominan ciertos tipos de organismos (e.g.dasícladas, conchas, o crinoides).	Laderas y bordes de plataforma.	FZ-5
13	Grainstone oncoide (bioesparita).	Áreas de energía ligeramente alta, agua muy somera.	FZ-5-6
14	Residuales. (Lags). Partículas recubiertas y redondeadas, mezcladas en los emplazamientos con ooides y peloides. Pueden estar teñidas de negro y con manchas por el hierro con fosfato; Iitoclastos; normalmente en capas delgadas.	Acumulación lenta de material de grano grueso en zona de aventamiento.	FZ-5
15	Oolitos de ooides bien-calibrados; fábrica (fabric) normalmente re-empaquetada (overpacked); siempre con laminación cruzada.	Ambiente de alta energía en los bancos de oolitos, playas, y barras de marea.	FZ-6
16	Grainstone con peloides. Probablemente 'pellets' fecales, en emplazamientos mezclados con concentradas pruebas de ostrácodos o foraminiferos.	Agua somera con circulación de agua sólo moderada.	FZ-7
17	Grapestone, pelsparita o grainstone con granos agregados, aislados y peloides aglutinados, algunos granos recubiertos (coated grains).	Plataforma con circulación de agua restringida y llanuras de marea.	FZ-8
18	Grainstones de foraminíferos o dasicladáceas.	Barras de marea y cauces de albuferas (o lagoons).	
19	Fenestral, mudstone (limolita)-wackestone laminado, pasando de vez en cuando a pelsparita con fábricas (fabric) fenestrales. Ostrácodos y peloides, foraminíferos esporádicos, gasterópodos y algas.	Bahías y plataformas restringidas.	FZ-8
20	Mudstone (limolita) estromatolito microbiano.	Muy frecuentes en la zona intermareal.	FZ-8
21	Mudstone (limolita) espongiostromo. Fábrica (fabric) microbiana convoluta en sedimento de lodo calizo de micrita de grano fino.	Plataformas de marea.	FZ-7
22	Micrita con oncoides grandes, wackestone o floatstone .	Ambientes de baja energía, agua poco profunda, zona entre el arrecife y la costa; a menudo en los bordes de plataformas o canales.	FZ-8
23	Micrita pura, no laminada, no fosilifera homogénea; puede tener minerales evaporíticos.	Plataformas- hipersalinas de marea	FZ-9

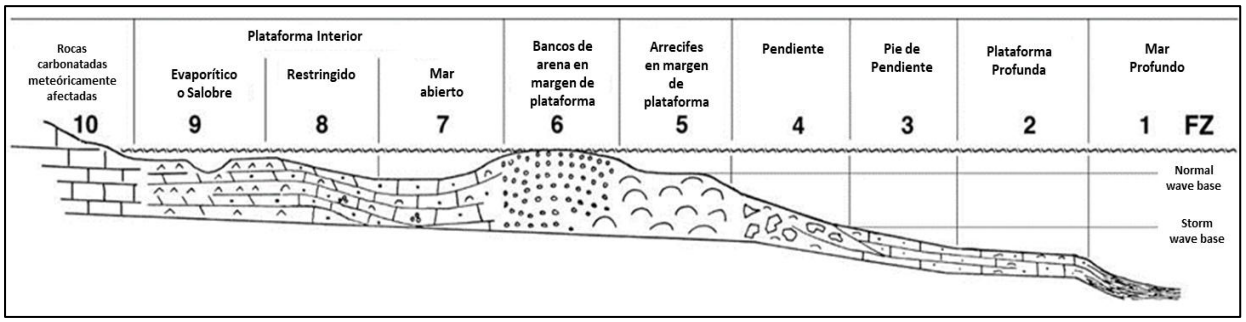
Tipo SMF	Litología	Ambiente	Zona de Facie
24	Rudstone o floatstone con litoclastos de grano grueso y bioclastos. Los clastos normalmente consisten en mienta no fosilifera; puede estar imbricados y con laminación cruzada; escasa matriz.	Depósito residual en cauces de marea (' brecha intraformacional ')	FZ-10

Nota. La tabla muestra los tipos de micro facies estándar basados en las publicaciones de Wilson (1975) y Flügel (1972)

Toda la descripción de facies se encuentra definida por 09 zonas de facies estándar distribuidas espacialmente como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 18

Zonas de Facies Estándar del modelo de Wilson modificado



Nota. Extraído y modificado de Wilson (1975)

Cada zona compone una configuración y sedimentos diferentes según las condiciones de formación; el contenido fósil es en muchos casos determinante para saber a qué zona se pertenece y dentro de estos el conocimiento de su naturaleza como infauna, epifauna y macrófitos bentónicos; la infauna se refiere a organismos que viven enterrados en el sedimento del fondo (ej. bivalvos, crustáceos), los organismos que viven sobre la superficie del fondo marino o en estructuras sésiles como corales, moluscos y algunos equinodermos se encuentran dentro de la epifauna; los macrófitos bentónicos son plantas acuáticas que han vivido adheridas al fondo, estas plantas se desarrollan en la zona bentónica (ej. algas).

Tabla 3

Descripción de Zonas de Facies Estándar

ZONAS DE FACIES (FZ)	Configuración	Sedimentos	Biota	Litofacies Comunes
FZ 1A Mar profundo	Por debajo de la base de las olas y de la zona eufótica en aguas oceánicas profundas. La profundidad del agua varía desde varios cientos hasta varios miles de metros. Cinturón de facies amplio.	Conjunto completo de sedimentos marinos profundos que incluyen arcilla pelágica, lodo silíceo y carbonático, limos hemipelágicos, turbiditas. Adyacente a las plataformas, mezclas de material pelágico y derivado de la plataforma (limos y lodos peri-platforma). Estratificación altamente variable, a menudo con capas delgadas. **Color de la roca:** oscuro, rojizo o claro dependiendo de las diferencias en las condiciones de oxidación y reducción.	Predominantemente plancton, ensamblajes oceánicos típicos, a veces asociados con fósiles bentónicos autóctonos. En los sedimentos peri-platforma, hasta el 75% de bentos de aguas poco profundas.	Limo pelágico y wackestone; margas; packstone alóctono, grainstone, brecha.
FZ 1B Cuenca de agua profunda cratónica	Por debajo de la base de las olas, por debajo de la zona eufótica. Profundidad del agua desde aproximadamente 30 metros hasta varios cientos de metros. Cinturón de facies amplio.	Similares a los de 1A. Limos hemipelágicos muy comunes. Ocasionalmente anhidrita. A veces, sílices comunes. Condiciones anóxicas bastante comunes (alto contenido orgánico; falta de bioturbación). Capas delgadas caliza oscura y capas de esquisto oscuro. Limo calcáreo, calcisiltilitas. **Color de la roca:** marrón oscuro y negro (debido a la materia orgánica) y rojizo (debido a la lenta sedimentación).	Predominantemente nekton (ejm. ammonites) y plancton (radiolarios, foraminíferos pelágicos, calpionélidos, coquinas de bivalvos de concha delgada). Ocasionalmente bentos (espículas de esponjas abundantes).	Caliza mudstone, wackestone, packstones. Margas. Anhidrita.
FZ 2 Plataforma profunda	Por debajo de la base de las olas en tiempo de buen tiempo, pero dentro del alcance de las olas de tormenta extremas. Dentro o justo por debajo de la zona eufótica. Formando mesetas entre plataformas activas y cuencas más profundas. Las mesetas comúnmente se establecen sobre plataformas sumergidas. Profundidad del agua de decenas a cientos de metros. Salinidad normal, aguas oxigenadas con buena circulación de corrientes. Cinturón de facies amplio.	Principalmente carbonato (caliza altamente fósilífera) intercalada con capas de margas. Wackestone esquelético y wackestone de fósiles completos; algo de grainstone y coquinas. La matriz comúnmente es pelmicrita. Algo de sílice. Bien bioturbado. Bien estratificado. Estratificación delgada a media, ondulada a nodular. **Color de la roca**: gris, verde, rojo y marrón, dependiendo de las condiciones variables de oxidación y reducción.	Fauna con conchas diversa que indica condiciones marinas normales. Infauna y epifauna. Plancton menor. Biota estenohalina conspicua (por ejemplo, braquiópodos, equinodermos).	Wackestone. Grainstones ocasionales. Margas y esquistos.
FZ 3 Toe-of-slope apron (margen de plataforma profunda)	Por debajo de la base de las olas y apenas en el nivel de oxígeno. Fondo marino con inclinación moderada (más de 1.5°) hacia la cuenca, a partir de pendientes más pronunciadas. Profundidades de agua similares a FZ 2, quizás de 200 a 300 metros. Cinturón de facies estrecho.	Principalmente carbonatos puros de grano fino, en algunos lugares síliceos, con raras intercalaciones de limos terrígenos. Material pelágico mezclado con detritos de grano fino movidos desde las plataformas adyacentes de aguas poco profundas. Típicos son lechos bien definidos de estratificación graduada o capas de brecha (turbiditas, depósitos de flujo de escombros) intercalados en sedimentos de fondo de grano fino. **Color de la roca:** de oscuro a claro.	Principalmente bentos de aguas poco profundas redepositados; algo de bentos de aguas profundas y plancton.	Caliza mudstone; packstones y grainstones alóctonos. Intercalaciones de esquistos.

ZONAS DE FACIES (FZ)	Configuración	Sedimentos	Biota	Litofacies Comunes
FZ 4 Pendiente	Fondo marino claramente inclinado (comúnmente de 5° a casi vertical) en el lado exterior de los márgenes de la plataforma. Cinturón de facies muy estrecho.	Predominantemente material de plataforma re-trabajado y mezclas pelágicas. Tamaño de grano altamente variable. Los extremos son pendientes fangosas suaves con mucho deslizamiento, y pendientes arenosas o rocosas con foresegs empinados. **Color de la roca:** de oscuro a claro.	Principalmente bentos de aguas poco profundas redepositados, bentos incrustantes de la pendiente y algo de bentos de aguas profundas y plancton. Las facies pueden ser muy fósilíferas.	Limo; packstone y grainstone alóctonos; rudstone y floatstone. Brecha.
FZ 5 Arrecifes en el margen de la plataforma	(a) Montículos de lodo estabilizados orgánicamente en la pendiente superior; (b) rampas con arrecifes en colinas y bancos de arena; (c) arrecifes barrera resistentes a las olas que rodean la plataforma. Profundidades de agua generalmente de algunos metros, pero hasta cientos de metros para montículos de lodo. Cinturón de facies muy estrecho.	Carbonatos casi puros de tamaño de grano muy variable. Calizas y dolomitas masivas. Masas o parches de varios tipos de boundstones. Cavidades de arrecifes llenas de sedimento interno o cementos carbonatados; múltiples generaciones de construcción, incrustación, perforación y destrucción. **Color de la roca:** claro.	Casi exclusivamente bentos. Colonias de constructores de estructuras, incrustantes y bloqueadores, junto con grandes volúmenes de escombros esqueléticos sueltos y arena que contienen microfósiles bentónicos (por ejemplo, foraminíferos, algas).	Framestone, bafflestone, bindstone, wackestone, floatstone, grainstone y rudstone.
FZ 6 Arenales en el margen de la plataforma	Arenales alargados, barras de marea y playas, a veces con islas eolianitas. Por encima de la base de las olas en tiempo de buen tiempo y dentro de la zona eufótica, fuertemente influenciado por corrientes de marea. Cinturón de facies muy estrecho.	Arenas calcáreas limpias, a menudo redondeadas, recubiertas y bien seleccionadas, ocasionalmente con cuarzo. Los granos de arena son granos esqueléticos, ooides y peloides. En parte con estratificación cruzada bien conservada, a veces bioturbada. Susceptible a la exposición subaérea. **Color de la roca**: claro.	Biota desgastada y desgastada de arrecifes y entornos asociados. Infauna de baja diversidad adaptada a sustratos móviles. Las biotas comunes son grandes bivalvos y gasterópodos, y tipos especiales de foraminíferos y dasiclados.	Grainstone, packstone.
FZ 7 Plataforma interior - marina normal (marina abierta)	Parte superior de la plataforma plana dentro de la zona eufótica, normalmente por encima de la base de las olas en tiempo de buen tiempo. Llamada *lagoon* cuando está protegida por bancos de arena, islas o arrecifes en el margen de la plataforma. Suficientemente conectada con el mar abierto para mantener salinidad y temperatura cercanas a las del océano adyacente. Circulación moderada. Profundidades de agua desde unos pocos metros hasta decenas de metros. Cinturón de facies amplio.	Limo calcáreo, arena fangosa y arenas limpias, dependiendo del tamaño de grano de la producción sedimentaria local y la eficiencia de la selección por olas y corrientes de marea. Estratificación media a gruesa. Localmente, arrecifes de parches o bancos orgánicos. La arena y el lodo terrígenos pueden ser comunes en plataformas adyacentes, pero generalmente están ausentes en plataformas aisladas, como atolones oceánicos. **Color de la roca:** claro y oscuro.	Bentos de aguas poco profundas con algas, foraminíferos y bivalvos; gasterópodos, particularmente comunes. Áreas con pastos marinos y arrecifes de parches.	Limo calcáreo, wackestone y floatstone, packstone, grainstone.

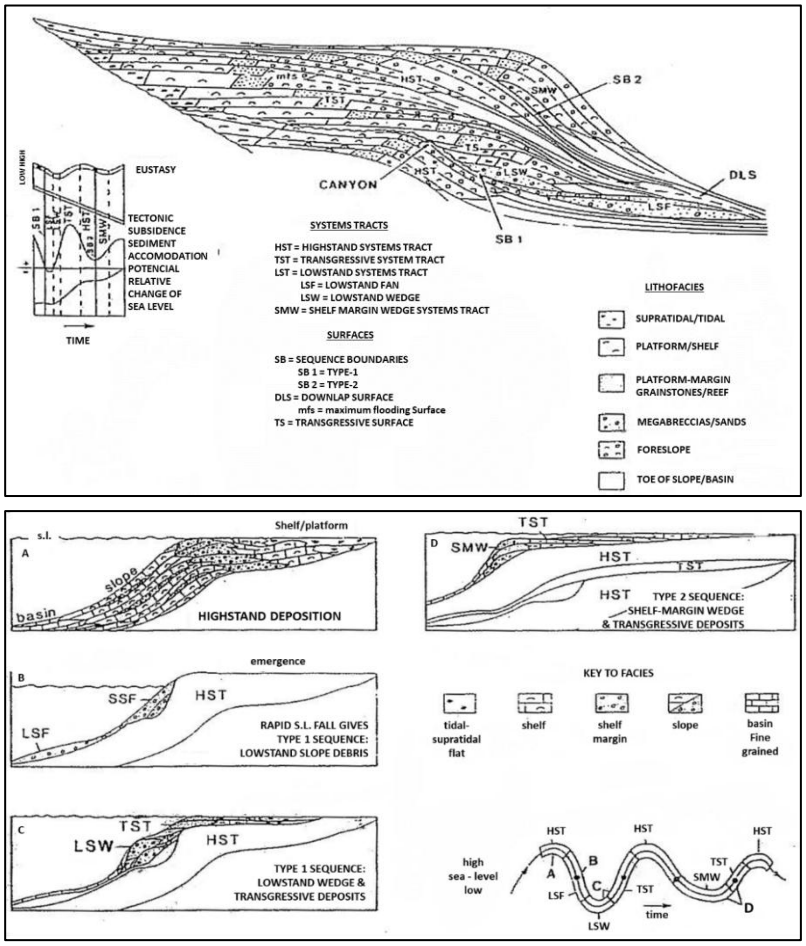
ZONAS DE FACIES (FZ)	Configuración	Sedimentos	Biota	Litofacies Comunes
FZ 8 Plataforma interior - restringida	Similar a la Zona de Facies 7, pero menos conectada con el océano abierto, lo que provoca grandes variaciones en salinidad y temperatura. Dentro de la zona eufótica. Típicamente con zonas de marea muy diferenciadas, con condiciones de agua dulce, salina e hipersalina, así como áreas expuestas subaerialmente. Estanques y *lagoons* poco profundos, aislados, con circulación restringida y agua hipersalina. *Lagoons* detrás de arrecifes barrera, dentro de atolones o detrás de divisiones costeras. Profundidades de agua de menos de un metro hasta unos pocos metros o varias decenas de metros. Cinturones de facies amplios.	Principalmente limo calcáreo y arena fangosa; algo de arena limpia. Ingreso terrígeno común. Cementación diagenética temprana común. Calizas y dolomitas. **Color de la roca:** claro.	Biota de aguas poco profundas con diversidad reducida, pero comúnmente con un alto número de individuos. Típicos son foraminíferos miliolidos, ostrácodos, gasterópodos, algas y cianobacterias. Vegetación marina y de agua dulce.	Caliza mudstone y dolomita mudstone, wackestone, grainstone, bindstone. Brecha sedimentaria.
FZ 9A Plataforma interior árida - evaporítica	Similar a las Zonas de Facies 7 y 8, pero con solo un flujo episódico de aguas marinas normales y un clima árido, de modo que se pueden depositar yeso, anhidrita o halita junto con carbonatos. Supratidal. Sabkhas, marismas salinas, charcas de sal. Cinturón de facies amplio.	Limo o arena calcárea o dolomítica, con yeso o anhidrita nodular, ondulada o de cristal grueso. Intercalaciones de capas rojas y eolianitas terrígenas en plataformas adyacentes a tierra. **Color de la roca:** altamente variable; claro, amarillo, marrón, rojo.	Poca biota autóctona excepto cianobacterias; ostrácodos, moluscos, camarones de sal adaptados a altas salinidades.	Margas calcáreas y dolomítico laminado y bindstones alternando capas con capas de yeso o anhidrita.
FZ 9B Plataforma interior húmeda - salobre (húmedo)	Conexión deficiente con el mar abierto, como en FZ 9A, pero con un clima húmedo que provoca que el escurrimiento de agua diluya pequeños cuerpos de agua estancada y que la vegetación de pantano se extienda en los planos supratidales. Cinturón de facies estrecho.	Limos o arenas marinas calcáreas con capas ocasionales de limo de agua dulce y turba. **Color de la roca:** gris, claro, marrón, oscuro.	Organismos marinos de aguas poco profundas arrastrados por tormentas, además de organismos adaptados a agua salobre y agua dulce (ostrácodos, caracoles de agua dulce, algas charofíceas).	-
FZ 10 Limos y calizas afectados por meteorización en condiciones húmedas y áridas, a menudo expuestos subaerialmente	Subaerial o subacuática, formados bajo condiciones meteóricas-vadosas y marinas-vadosas. Abundantes en configuraciones kársticas y carbonatos pedogénicos (áreas continentales y cercanas a la costa), y en ambientes supratidales e intertidales.	Calizas afectadas por disolución meteórica diagenética temprana, predominantemente durante fases de exposición subaerial (por ejemplo, paleokarst). Común en costras de caliche. Típicamente en calizas ricas en cementos carbonatados, pero también en caliche micrítico o como granos retrabajados en ambientes restringidos (ejm, estanques costeros o *lagoons*).	Biota autóctona ausente, excepto cianobacterias y microbios.	-

B. **Modelo Dinámico de facies Carbonatadas:** Los sistemas deposicionales son complejos por naturaleza, pero las sucesiones antiguas a menudo se simplifican a modelos que se centran en un solo factor de control predominante, generalmente el nivel del mar. Estos modelos dinámicos destacan las transformaciones en los sistemas deposicionales y los factores ambientales a lo largo del tiempo, integrando múltiples escalas de observación, desde microfacies hasta secuencias sedimentarias (Aigner, et al., 1989). Su valor radica en su intento de evitar las categorizaciones rígidas, como las propuestas en el modelo de Wilson, y en su capacidad para ilustrar el desarrollo de las zonas de facies a lo largo del tiempo; los tractos de sistemas identificados mediante la estratigrafía secuencial reflejan cambios graduales en los ambientes marinos, impulsados por variaciones en las profundidades del agua debido a fluctuaciones en el nivel del mar, el espacio de acomodación y la producción biogénica.

   - **Conceptos de Estratigrafía Secuencial en Carbonatos:** En los conceptos de secuencia estratigráfica, que se derivan principalmente del trabajo de estratígrafos sísmicos, el principal control en la deposición es la variación relativa del nivel del mar; esta variación está determinada por cambios eustáticos en el nivel del mar y por la subsidencia tectónica; durante intervalos específicos de la curva de nivel del mar (tercer orden), se desarrollan tramos particulares de sistemas de deposición (Figura 19) (Tucker & Wright, 1990); las secuencias gruesas de carbonato se depositan principalmente en el tracto de sistemas de alto nivel, aunque también pueden encontrarse en el tracto de sistemas transgresivos (Sarg, 1988). Se identifican dos tipos de secuencias (tipo 1 y 2), dependiendo de si el nivel del mar desciende por debajo del borde de la plataforma, formando o no abanicos y cuñas de nivel bajo, o una escama de margen de plataforma (shelf-margin wedge).

Figura 19

Secuencia estratigráfica cercana a los depósitos carbonatados



Nota. La figura muestra la secuencia estratigráfica cercana a los depósitos carbonatados cuya terminología incluye:

- EUSTASY: Eustasia (cambios globales del nivel del mar).
- TECTONIC: Tectónica (movimientos de la corteza terrestre).
- SUBSIDENCE: Subsidencia (hundimiento del terreno).
- RELATIVE CHANGE OF SEA LEVEL: Cambio relativo del nivel del mar.
- SEDIMENT ACCOMODATION POTENTIAL: Potencial de emplazamiento de sedimentos.

LITOFACIES (AMBIENTES Y DEPÓSITOS):

- SUPRATIDAL/TIDAL: Supramareal/mareal.
- PLATFORM/SHELF: Plataforma/llanura marina.
- PLATFORM-MARGIN: Borde de plataforma.
- GRAINSTONES/REEF: Grainstones/arrecife.
- MEGABRECCIAS/SANDS: Megabrechas/arenas.
- FORESLOPE: Ladera sumergida (hasta 6 brazas) de un atolón.
- TOE OF SLOPE/BASIN: Pie de talud/cuenca.

SYSTEMS TRACTS (TRACTOS DE SISTEMAS):

- HIGHSTAND: De alto nivel.
- TRANSGRESSIVE: Transgresivo.
- LOWSTAND: De bajo nivel.
- FAN: Abanico.
- WEDGE: Cuña.
- SHELF MARGIN WEDGE: Cuña de borde de plataforma.

SURFACES (SUPERFICIES):

- SEQUENCE BOUNDARY: Límite de secuencia.
- DOWNLAP SURFACE: Superficie basal de progradación.
- MAXIMUM FLOODING SURFACE: Superficie máxima de inundación.
- TRANSGRESSIVE SURFACE: Superficie transgresiva.

Nota: Según Carbonate sequence stratigraphy, In: Sea-Level Changes: an Integral Approach de Sarg (1988). https://acortar.link/gGYFEG

Los modelos de estratos están influenciados por variaciones en el nivel del mar, controladas por la eustasia y la subsidencia tectónica, lo que determina la capacidad de alojamiento del sedimento (deposición o erosión). Durante intervalos específicos de la curva del nivel del mar, se forman distintos tramos de sistemas como HST, TST, LST y SMW. Las secuencias carbonatadas se desarrollan principalmente en niveles altos del mar y se identifican dos tipos de límites de secuencia; en el tipo 1, la caída del nivel del mar supera la subsidencia, lo que provoca el descenso del nivel por debajo del margen de la plataforma, formando abanicos de bajo nivel (LSF) y rellenos de cicatrices de ladera (SSF). En el tipo 2, la subsidencia supera la caída del nivel del mar, permitiendo que la línea de costa se mueva sin superar el borde de la plataforma, formando cuñas de borde de plataforma (SMW). Los tramos TST y HST se desarrollan mejor en rampas, mientras que LSF se forma en márgenes empinados de la plataforma; las superficies de máxima inundación (MFS) y las superficies transgresivas (TS) separan los diferentes tramos.

Un marco estratigráfico secuencial para secuencias carbonatadas ayuda a entender la configuración deposicional de los carbonatos y a predecir la distribución de facies, geometrías y posibles reservorios; este marco integra ambientes deposicionales, fauna, facies y sistemas sedimentarios, permitiendo identificar áreas de acumulación en plataformas, márgenes, pendientes y cuencas.

Tabla 4

Estratigrafía de secuencias carbonatadas y entorno de deposición

Configuración	Plataforma Interna	Plataforma Externa	Margen	Ladera (Slope)	Base de Cuenca (Basin)
Facies	Sedimentos homogéneos – Micritas, peloides a packstone bioclásticos a wackestone; evaporitas locales. Ciclos de somerización comunes, predecibles y correlacionables, carbonatos más finos coronados por llanuras de marea dominadas por cianobacterias y/o evaporitas.	Sedimentos heterogéneos: ooides, grapestones y peloides endurecidos a bancos de granos bioclásticos a formaciones de arrecifes de parches y bancos. Ciclos de somerización comunes, predecibles y correlacionables.	Sedimentos heterogéneos a homogéneos, boundstones arrecifales, acumulaciones de packstone bioclástico a grainstone. Ciclos de somerización comunes.	Upslope: Wackestones heterogéneos a packstones, pasando a grainstone y rudstone, con transporte fuera del banco. Caliza mudstone-wackestone debido al desprendimiento de material periplataforma de grano fino y pendiente tranquila. Presencia local de tempestitas bien clasificadas y ricas en granos. Fallas frágiles del arrecife y escombros de brechas y bloques (olistolitos) comunes. Cuesta abajo, packstone bioclástico disperso homogéneo a mudstone proveniente de la zona cuesta arriba, a menudo bioturbado.	Ciclos homogéneos de mudstone, marga a lutita, debido a cambios relativos en el nivel del mar. Ciclos de afinamiento hacia arriba comunes.
Geometría	Capas no confinadas de sedimento homogéneo. Rellenos de canales confinados impulsados localmente por tormentas.	Capas de sedimento heterogéneo no confinadas. Rellenos de canales confinados localmente. Acumulaciones locales confinadas en forma de lente.	Capas homogéneas no confinadas de espesor grueso a masivo a cuerpos lineales paralelos (bancos de barrera) o perpendiculares (canales de marea) al margen.	Intercalación de capas clinoformes no confinadas, agradadas y retrogradadas en el talud frontal; engrosan hacia arriba y adelgazan cuesta abajo. Las capas confinadas localmente y los rellenos de canales pueden ser comunes.	Capas delgadas y extensas no confinadas
Fauna	La fauna suele ser numerosa y restringida.	La fauna suele ser de aguas poco profundas, heterogénea y moderadamente cosmopolita.	Fauna en grandes cantidades y cosmopolita. La adaptación ecológica en la pendiente es común, con formaciones de boundstones masivos y materiales esqueléticos heterogéneos de construcción de arrecifes marinos abiertos, que a menudo son propensos a granos en las porciones distales; las superficies superiores de límite suelen ser SB y menos visibles que el MFS.	Fauna en grandes cantidades en la pendiente ascendente, pero más escasa y restringida en la pendiente descendente. La bioturbación es cosmopolita en áreas someras protegidas de la acción intensa de las olas; en la parte superior de la pendiente descendente, la excavación es a menudo intensa.	Fauna en bajas cantidades y escasa lejos del margen. La bioturbación es común en superficies con tasas de suministro bajas.

Configuración	Plataforma Interna	Plataforma Externa	Margen	Ladera (Slope)	Base de Cuenca (Basin)
LST	FSST y exposición posterior de LST, posibles karstificaciones y/o sin acumulación.	FSST y LST comunes, superficies de exposición y relleno discontinuo de mudstone a wackestone en canales de marea perpendiculares al margen, cubiertos por capas microbianas.	FSST y LST incluyen superficies de exposición o, donde el descenso del nivel del mar es menor, de regresiones forzadas de facies de packstone y wackestone en cuerpos de la línea de costa del área superior de la pendiente (parasecuencias en altura) paralelas al margen.	FSST y LST: superficies erosionales debido al paso de sedimentos desde la pendiente superior, descendiendo desde líneas de costa regresivas forzadas, con facies de wackestone y packstone que se extienden hacia abajo desde el margen del basamento. Colapso FSST/LST, megabrechas en el margen a caídas del nivel del mar.	LST y TST (y el inicio de HST) cuando las plataformas agradan rápidamente, ellas, y la pendiente, suministran escombros y flujos de lodo (mudflows).
TST	TST a menudo ausente o sedimentos anteriores retrabajados.	TST onlapeando capas lineales paralelas al margen con aggradación local de lentes de TST.	TST onlapeando capas de facies marinas abiertas de capas de mudstones, wackestones y packstones.	TST onlapeando capas de facies marinas abiertas de mudstone calcáreo arcilloso y wackestone; con acumulaciones locales, especialmente sobre elevaciones topográficas.	LST y TST (y HST temprano) cuando las plataformas agradan rápidamente, ellas y la pendiente suministran debris y flujos de lodo.
HST	HST base de carbonato arcilloso o de lutita ricos en materia orgánica.	HST elevado y agradacional, cintas lineales de arena calcárea y barreras y bancos paralelos al margen, coronados por superficies de exposición subaérea (SB).	HST con una base de mudstones calcáreos más finos y wackestones, superpuestos por ciclos agradantes y de somerización ascendentes de cintas de grainstone paralelas al margen de la plataforma y boundstone macizo que se fusiona paralelo al margen, coronados por superficies de exposición subaérea (SB).	HST con láminas de mudstone calcáreo a wackestone que se extienden desde el margen, coronadas por superficies de exposición (SB) que varían de erosionales a discordancias subaéreas.	HST con desprendimiento de plataforma, arenas de flujo de grano, flujo de densidad y turbiditas, y menor cantidad de lodo calcáreo. En la pendiente inferior, hay turbiditas de carbonato que varían en grosor, de métrico a escalas mayores, como resultado de cambios eustáticos a lo largo de milenios.

Nota. La tabla muestra la secuencia estratigráfica de carbonatos conecta los contextos de deposición y la fauna con un marco predecible de facies, geometrías, tractos de sistemas y superficies de límite. Las características observadas en mares epicontinentales son similares a las de los entornos de plataforma, lo que facilita la interpretación de los sistemas de deposición y sus respectivas facies.

CAPÍTULO III – GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

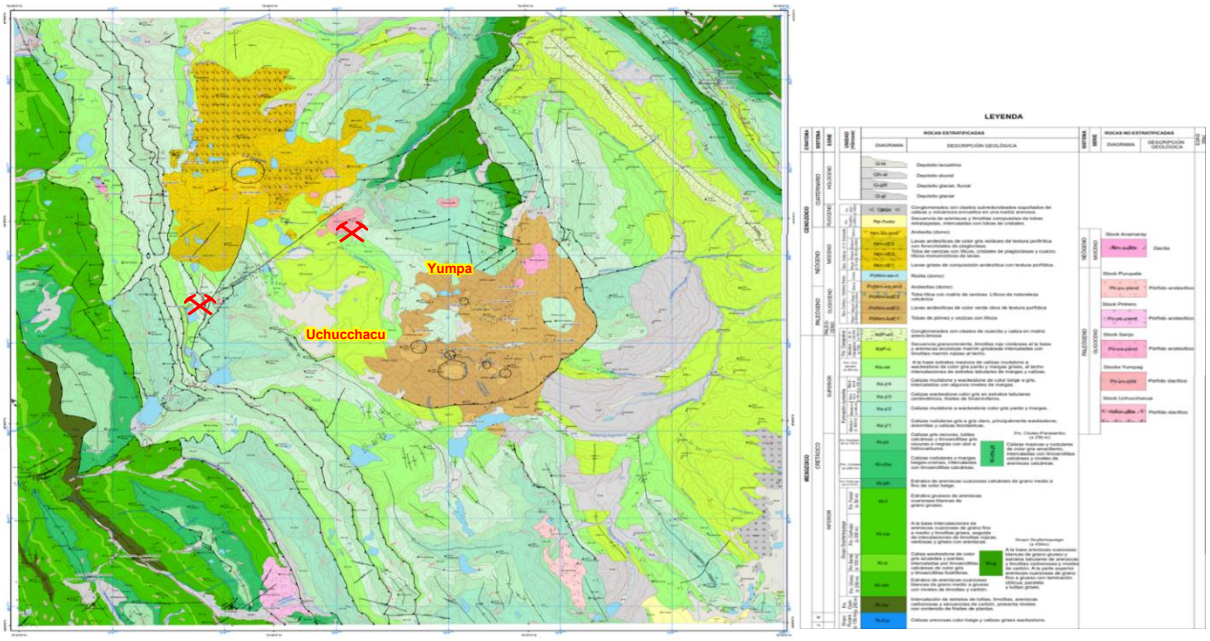
3.1 Geología Regional

El yacimiento de Yumpag está situado en la parte noreste del cuadrángulo Oyón (22j), el cual fue cartografiado por Luis Coba Palomino, Jovita Soana Condori y Cleber Huachaca Chipane (2024) en el INGEMMET. En el área central de este cuadrángulo se destaca una serie de anticlinales y sinclinales con ejes curvados, alineados en dirección NNW-SSE. La descripción estratigráfica abarca desde la Formación Oyón, la cual actúa como la base del sistema corrido y plegado del Marañón.

En la zona oeste del cuadrángulo, las rocas sedimentarias plegadas están parcialmente cubiertas por rocas volcánicas del Grup|o Calipuy, del cual sus stocks e intrusiones subvolcánicas atraviesan las rocas sedimentarias de la cuenca.

Figura 20

Mapa geológico regional correspondiente al sector noreste del Cuadrángulo de Oyón.



Nota. Extraído y modificado de Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca por Cobbing et al. (1996). https://acortar.link/Mv19bH

En el lado este del cuadrángulo se observan afloramientos de la Formación Celendín, los cuales parecen estar controlados estructuralmente en su borde occidental. Estos

afloramientos están cubiertos en parte por rocas volcánicas del Grupo Calipuy, que a su vez se encuentran recubiertas por sedimentos glaciales y aluviales no consolidados; a su vez se encuentran recubiertas por sedimentos glaciales y aluviales no consolidados (Cobbing, 1973).

En esta región, tanto las rocas sedimentarias como las volcánicas están atravesadas por fallas con orientación NE-SW, que muestran un desplazamiento dextral, fallas como Cachipampa, Mancacuta y Patón (Gil , 2024).

Los eventos magmáticos más recientes en la zona ocurrieron durante el Mioceno, entre hace 14.5 y 5 millones de años, y está relacionado con la formación de varios yacimientos hidrotermales alojados en rocas sedimentarias. (SRK Consulting Inc., 2017).

3.1.1 Formación Oyón

La Formación Oyón se caracteriza por estar compuesta de areniscas finas de color gris, lutitas y capas de carbón. Esta formación no presenta su base visible, ya que sirve como un nivel de despegue que facilitó el desarrollo del sistema corrido y plegado del Marañón. Se encuentra aflorando en la región al oeste de la mina Uchucchacua, en los alrededores de Oyón, lo que le da su nombre. Sin embargo, hacia el este, a unos 20 kilómetros de Uchucchacua, la Formación Oyón desaparece, donde el Grupo Goyllarisquizga del Neocomiano se encuentra directamente sobre el Grupo Pucará, que pertenece al Triásico superior-Jurásico medio. (Carlotto, 2014)

En cuanto a su espesor, en las zonas donde aflora se estima en unos 400 metros, aunque se va adelgazando progresivamente hacia el este. Esta formación se depositó en un entorno deltaico, donde las marismas facilitaron la acumulación de materia vegetal, lo que dio lugar a la formación de capas de carbón. Basándose en fósiles de plantas, como *Otozamites goeppertianus y Weichselia cf mantelli,* se ha determinado que la Formación Oyón data del Tithoniano; no obstante, algunos estudios sugieren que podría pertenecer al Neocomiano. (Romani, 1982)

3.1.2 Grupo Gollarisquizca

Conformado por las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat que se describen a continuación:

- **Formación Chimú:** La Formación Chimú está constituida principalmente por cuarcitas, areniscas cuarzosas y algunas intercalaciones de lutitas, todas depositadas en un ambiente deltaico, donde destacan las laminaciones oblicuas. En la región estudiada, su espesor oscila entre 400 y 600 metros, aunque disminuye hacia el este. Se le atribuye una edad Berriasiana, ya que yace sobre la Formación Oyón, que corresponde al Tithoniano, y por debajo de la Formación Santa, que se data en el Valanginiano.
- **Formación Santa:** La Formación Santa está compuesta por afloramientos de calizas acompañadas de lutitas grises y margas, todas de origen marino poco profundo, con algunas intercalaciones de areniscas litorales. Las calizas indican una transgresión marina que probablemente data del Valanginiano. Su espesor es de aproximadamente 60 metros. La secuencia comienza con calizas que contienen chert, pero este desaparece gradualmente, y las calizas arenosas o margosas se intercalan en la serie calcárea.

  A unos 12 kilómetros al oeste-suroeste del pueblo de Oyón, en la margen derecha del río Huaura, cerca de Mallay, la Formación Santa presenta intercalaciones decimétricas de yeso dentro de bancos de calizas negras. Más abajo en el curso del río, cerca de Churín, el espesor de los niveles evaporíticos aumenta y fueron explotados en la década de 1980 (Romani, 1982). El ammonite Valanginites broggii (Lissón, 1938), encontrado en la base de la Formación Carhuaz, data la Formación Santa dentro del Valanginiano. (Benavides, 1956)
- **Formación Carhuaz**: Se encuentra sobre la Formación Santa, y la transición entre ambas está marcada por una alternancia de areniscas finas, predominantemente rojas, y lutitas. En esta secuencia se ha recolectado el *ammonite Valanginites broggii* (Lissón,

1938), que data del Valanginiano superior (Benavides, 1956). La parte superior de la formación parece extenderse hasta el Barremiano. En esta sección superior, la presencia de capas con material carbonoso y gasterópodos de aguas salobres (como Paraglauconia y Cyrena) sugiere un entorno costero con marismas.

La Formación Carhuaz está compuesta principalmente por una alternancia bien estratificada de areniscas y lutitas, con capas delgadas a medianas, de origen fluvio-deltaico. Su espesor varía entre 200 y 300 metros, adelgazándose hacia el este (Carlotto, 2014).

- **Formación Farrat:** Se encuentra en concordancia sobre la Formación Carhuaz. Esta unidad está formada por una barra masiva de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, de origen fluvial y deltaico, en la que se aprecia estratificación cruzada. Su espesor máximo se estima en 100 metros. Presenta fuertes variaciones de facies y espesor tanto en dirección norte-sur como este-oeste. Hacia el norte, las areniscas son más finas y de color rojo, mientras que al sur son más gruesas, blancas y en ocasiones calcáreas. El espesor de la formación es mayor hacia el oeste (Romani, 1982).

  No se han identificado fósiles en esta unidad, y se le asigna una edad Aptiana, ya que subyace a la Formación Pariahuanca del Albiano inferior.

3.1.3 Formación Pariahuanca

La Formación Pariahuanca, que yace en concordancia sobre la Formación Farrat, está compuesta principalmente por calizas y margas. En los primeros 40 metros de la secuencia en las cercanías de Uchucchacua, se observa una alternancia de calizas margosas y calizas, seguida por un episodio de alta energía marcado por oolitos, completándose con calizas finas, en ocasiones litográficas (Carlotto, 2014). Hacia la parte superior, calizas margosas o arenosas indican la transición hacia la Formación Chulec, que comienza con un banco de margas. Fósiles como Parahoplites (Benavides, 1956), equinodermos, ostras, pequeños foraminíferos y oolitos

sugieren un ambiente de borde de plataforma carbonatada sin barrera arrecifal, dado que no se han encontrado rudistas (Romani, 1982). Su espesor varía entre unas decenas de metros hasta un máximo de 150 metros, y se le atribuye una edad Albiana inferior.

3.1.4 Formación Chulec

Se encuentra en concordancia sobre la Formación Pariahuanca y está compuesta por calizas, margas, algunos bancos de calizas arenosas y lutitas bituminosas. El horizonte de margas que aparece justo por encima de las lutitas bituminosas marca el límite superior de la Formación Chulec. No obstante, más al sur, esta formación se divide en dos miembros: uno inferior formado por calizas y margas, y otro superior más masivo, compuesto por calizas de color beige (Romani, 1982). La abundante presencia de fósiles en esta formación sugiere una edad Albiana media, indicando que estas rocas se depositaron en el talud externo de una plataforma carbonatada y su espesor promedio varía entre 100 y 200 metros.

3.1.5 Formación Pariatambo

Se encuentra en concordancia sobre la Formación Chulec. Su parte inferior está compuesta por una alternancia de capas métricas de areniscas calcáreas y lutitas bituminosas negras, con un espesor de aproximadamente 40 metros. La parte superior se caracteriza por la presencia de bancos decimétricos de silexita alternados con calizas negras bituminosas, con un espesor adicional de 20 metros. El último banco centimétrico de silexita marca el techo de la formación. La abundancia de *ammonites*, como *Oxytropidoceras carbonarium*, permite fechar la Formación Pariatambo al final del Albiano medio. El ambiente de depósito fue confinado y reductor, o euxínico, similar al actual Mar Negro, con una gran profundidad que favoreció el desarrollo de los *ammonites* (Romani, 1982). La formación tiene un espesor promedio de 60 metros.

3.1.6 Formación Jumasha

La Formación Jumasha, en la zona de estudio, se ha dividido por razones de cartografía en tres unidades menores, denominadas miembro inferior, medio y superior. Los límites entre estas unidades están marcados por niveles de referencia representados por calizas margosas beige que interrumpen la uniformidad de las calizas masivas grises (Jaillard E. , 1986) (Romani, 1982).

La edad de la formación abarca desde el Albiano terminal, determinada por la presencia de fósiles como *Lylliceras ulrichi y Oxytropidoceras douglasi (Knechtel)* (Wilson J. , 1963), hasta el Santoniano basal, basado en los foraminíferos encontrados en el miembro superior.

A continuación, se hará una descripción basada principalmente en las observaciones de Romani (1982), seguida de la columna detallada presentada por Jaillard E. (1986) y Jaillard & Arnaud (1993).

- **Jumasha Miembro Inferior (530 metros):** Esta unidad ha sido estudiada por Romaní en el Cerro Iscu, al oeste de Uchucchacua, quien define al Jumasha inferior subdividido en cuatro unidades, con un espesor total de 500 metros. Está compuesta por calizas grises, en ocasiones masivas, que en su base contienen chert y calizas margosas. En la parte media, algunas facies cuarzosas y ligeramente bioclásticas rompen la uniformidad de la secuencia. El análisis de facies sugiere un entorno de depósito correspondiente al talud externo de una plataforma carbonatada cercana al borde (Romani, 1982). En la parte inferior, un horizonte calcáreo con *Exogyra costagyra cf. olisoponensis* (Romani, 1982) indica una edad Cenomaniana. En la parte superior, el foraminífero *Merlingina cretacea* sugiere una edad que va desde el Cenomaniano medio hasta el superior.

  Sin embargo, Alarco y Olivera (2024), presentan una nueva descripción con una columna estratigráfica levantada en Chinche (9km al noreste de Yumpag) en donde representa un ambiente deposicional de rampa interna con variaciones cíclicas en

energía y restricción, evidenciadas por facies predominantemente de dolomías mudstone a wackestone, ocasionales margas y raros niveles de calizas grainstone oolíticas bioclásticas. En su base (Formación Pariatambo-Jumasha), se encuentran dolomías mudstone pobres en bioclastos y cuarzo, asociadas a un ambiente submareal tranquilo, seguido por margas de mayor contenido detrítico y dolomías con fauna más variada (bivalvos, ostrácodos, foraminíferos, peloides), indicando transiciones hacia sectores submareales más distales. Más arriba, una intercalación de facies submareales e intermareales refleja ciclos de regresión y transgresión marina, con sectores predominantemente *lagoon* de baja energía y ocasionales niveles de alta energía, como barras. Hacia el techo, facies de margas, calizas y dolomías margosas consolidan la presencia de un ambiente intermareal-submareal tipo *lagoon*, marcando el cierre del miembro inferior y el inicio de una nueva secuencia más bioclástica.

- **Jumasha Miembro Medio (425 metros):** Esta unidad está formada por calizas grises muy masivas, dispuestas en bancos plurimétricos, que alternan con calizas nodulares y algunos horizontes de calizas margosas poco frecuentes. Los últimos 70 metros están constituidos por calizas margosas beige, conocidas como un nivel de referencia (Romani, 1982) o "Marker" en la cartografía del distrito minero de Uchucchacua. Su espesor aproximado es de 500 metros, aunque se adelgaza hacia el este. Romaní estima que la edad de esta unidad corresponde al Turoniano.
- **Jumasha Miembro Superior (310 metros):** Este nivel es ampliamente reconocido en Yumpag, donde se desarrolla una columna estratigráfica de aproximadamente 350 metros, organizada en cuatro niveles bien definidos. En la base se encuentra el Horizonte Gasterópodos, compuesto por calizas bioclásticas limpias, caracterizadas por una abundante presencia fosilífera de foraminíferos y gasterópodos, con texturas que varían entre grainstone y packstone. Este horizonte transiciona gradualmente hacia el

Nivel Beta, conformado por calizas limpias con texturas predominantes de mudstone a wackestone, ambos considerados altamente favorables para procesos de mineralización. Estos dos niveles están separados por un Nivel Bioturbado, de 20 a 25 metros de espesor, constituido principalmente por calizas de textura mudstone, con abundantes flujos bituminosos que impregnan la matriz y actúan como trampa estratigráfica. En la parte superior de la columna, se encuentra el distintivo Nivel Margoso, compuesto por calizas grises oscuras de naturaleza margosa, con bioturbación moderada y contenido fosilífero fragmentado, principalmente restos de bivalvos y foraminíferos, este nivel tiene un espesor de cerca de 150 metros y suprayace a la Formación Celendín de manera concordante y transicional.

3.1.7 Formación Celendín (200 metros)

Esta formación ha sido dividida en dos unidades por Romaní (1982), lo que facilita una cartografía más detallada. El miembro inferior está compuesto por calizas de color beige, mientras que el miembro superior consiste en lutitas, areniscas y margas de tonalidades rojas y grises.

- **Celendín Miembro Inferior:** Según (Wilson J. , 1963), el paso de la Formación Jumasha a la Formación Celendín no es claro, ya que la transición hacia las margas es progresiva. Además, debido a las condiciones de afloramiento, la separación entre ambas formaciones es difícil de definir. No obstante, el criterio de color resulta útil: el Jumasha superior es gris, mientras que el Celendín inferior es beige.

  La litología de esta formación se caracteriza por una alternancia métrica de calizas y calizas margosas de color beige en pátinas, depositadas en una plataforma interna, cubiertas luego por calizas margosas de talud externo (Romani, 1982). El espesor promedio es de 300 metros, aunque disminuye hacia el este.

- **Celendín Miembro Superior:** Esta unidad se caracteriza por una alternancia monótona de calizas margosas y margas blancas. Se observa cierta ritmicidad entre los depósitos del talud externo y la plataforma, confirmada por la presencia de equinodermos. La aparición de margas rojas señala el límite superior de este miembro. Ammonites encontrados por H. Núñez del Prado (Romaní, 1982), 50 metros por encima de la base del Celendín Superior en el Cerro Muqui, han sido fechados como del Coniaciano.

3.1.8 Formación Casapalca (150 metros)

Aflora en las pampas de Yumpag, está compuesta por margas calcáreas y limos rojos de origen continental. Su espesor varía entre 100 y 150 metros, disminuyendo hacia el este. Se observa una leve discordancia progresiva entre la Formación Celendín y las Capas Rojas del Casapalca (Romani, 1982).

En esta zona no se ha reportado la presencia de fósiles, pero por correlación se puede inferir que esta unidad tiene una edad que abarca el Maastrichtiano.

3.1.9 Grupo Calipuy (200 metros)

En la zona de Uchucchacua, el Grupo Calipuy aflora en el sector del Cerro Atalaya, donde se encuentra en contacto mecánico con las calizas del Jumasha, separado por la falla Uchucchacua al oeste.

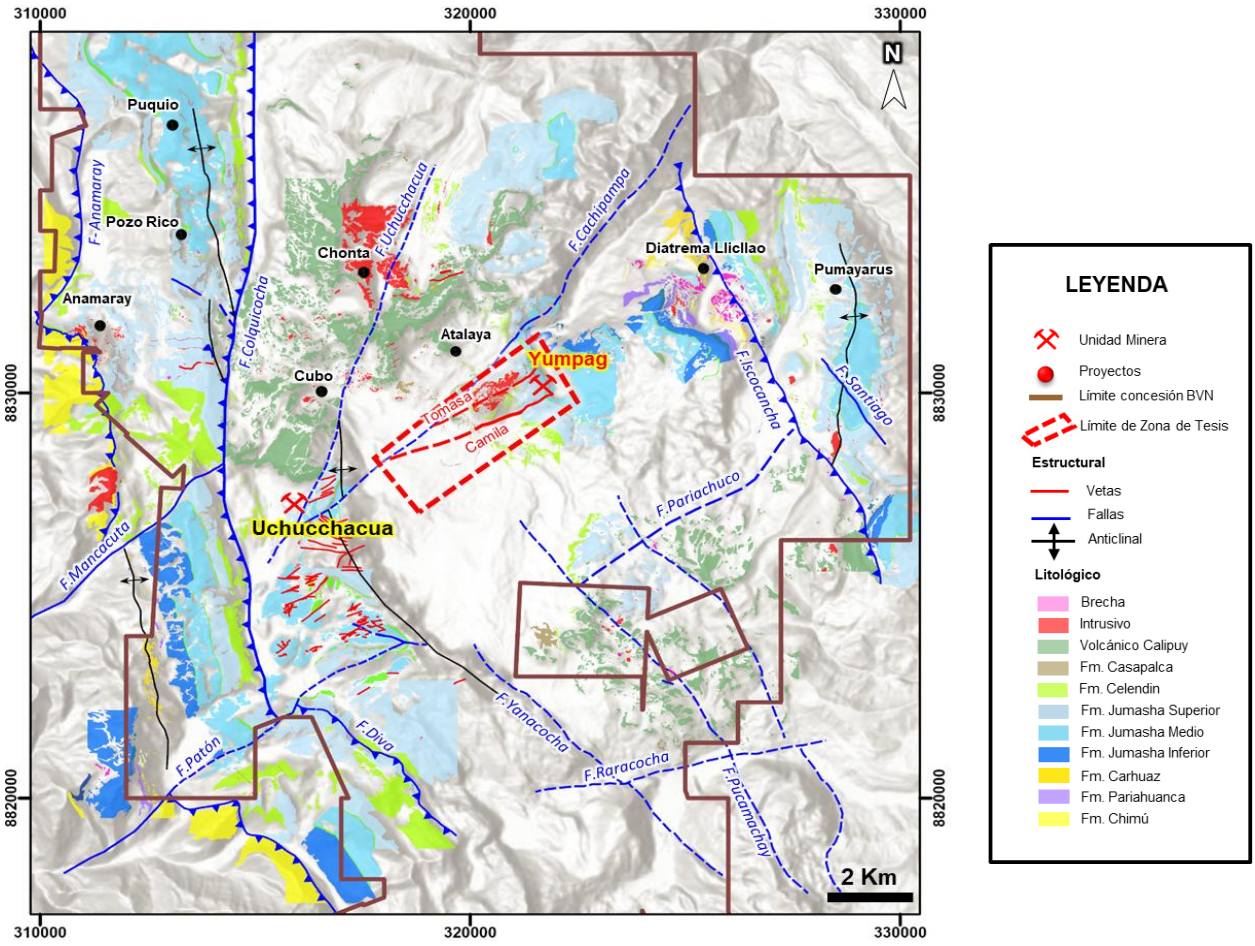
El edificio volcánico Atalaya es finamente detallado por Ángeles (2015) como una estructura multiepisódica compuesta por varias unidades: un aparato explosivo hidrotermal inicial (unidad Leoncocha), restos de un estratovolcán andesítico con depósitos volcanosedimentarios asociados (unidad Atalaya), un aparato basáltico discordante, tobas de lapilli posiblemente vinculadas a un cuello piroclástico, y domos y domo-coladas riolíticos (unidad Bronce Machay). Además, incluye stocks y diques andesíticos-dioríticos, junto con sistemas cruzados de diques de riolita tardía (~13.63 Ma).

El desarrollo de estas unidades estuvo controlado por fallas principales como Uchucchacua, Puntachacra NO, Yanachaca, Caballococha y Jancapata E, que domina el flanco activo, cabalgando sobre el apilamiento volcanosedimentario andesítico.

Los eventos volcánicos generaron sistemas hidrotermales que provocaron alteraciones significativas y vetas mineralizadas. Entre ellas, destacan: argilización avanzada y silicificación en la unidad Leoncocha, argilización avanzada en los domos Bronce Machay, y vetas polimetálicas ricas en plata asociadas al sistema de diques riolíticos tardíos, conectados con los enjambres de diques Jancapata, Alberto y José.

Figura 21

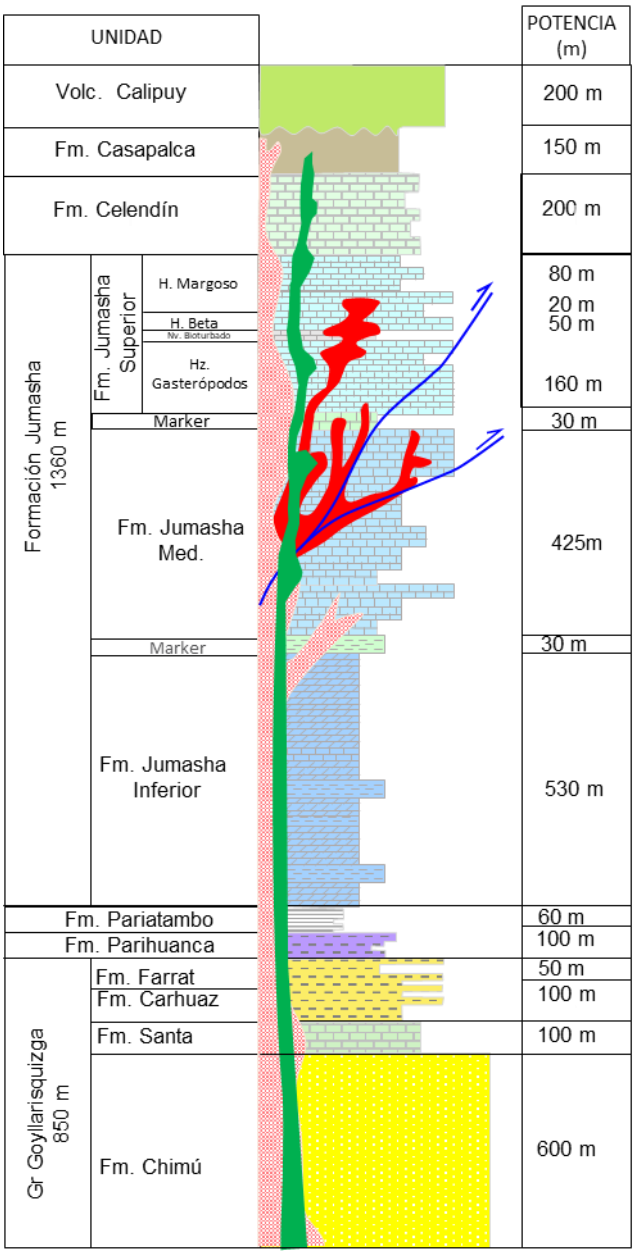
Geología del Distrito Minero de Uchucchacua



Nota. Obtenido de Compañía de Minas Buenaventura

Figura 22

Columna Estratigráfica del Distrito minero de Uchucchacua- Yumpag



Nota. Obtenido de Compañía de Minas Buenaventura

3.2 Geología Local

En el área de estudio correspondiente a los alrededores de Yumpag, la Formación Jumasha actúa como la roca hospedante predominante. Dentro de esta formación, el miembro Superior ha sido claramente identificado como la principal unidad hospedante de los cuerpos mineralizados previamente definidos como Tomasa y Camila. No obstante, el miembro Medio del Jumasha es reconocido como la roca hospedante principal para el yacimiento de

Uchucchacua y, al momento de la presente investigación, se han obtenido los primeros cortes mineralizados en el yacimiento de Yumpag, asociados a este horizonte Medio.

La Formación Jumasha está cubierta de manera discordante por la Formación Celendín, sobre la cual se dispone la Formación Casapalca. Los afloramientos de esta última son claramente visibles en la planicie superficial de la zona de estudio. Asimismo, el área presenta intrusiones denominadas colectivamente como Cerro Yumpag, las cuales comprenden cuerpos de microdiorita del Oligoceno y una serie de intrusiones de composición diorítica, vinculadas al Grupo Calipuy y precursoras de la mineralización durante el Mioceno.

Además, se han identificado diques contemporáneos a la mineralización, como el Dique Mequías de composición andesítica y el Dique Mariana de composición dacítica, ambos fechados en el Mioceno Medio (Serravaliano 11-12 Ma).

3.2.1 Miembro Jumasha Medio (540 metros) Turoniano tardío a Coniaciano temprano (89.8 a 86.3Ma)

El Miembro Jumasha Medio tiene aproximadamente 540 metros de potencia, adelgazándose hacia el este. En su base se encuentran margas con fósiles de bivalvos, gasterópodos y ostras, indicando un ambiente de mar abierto y profundo. Hacia los estratos superiores, predominan calizas mudstone margosas con mayor bioturbación y gasterópodos centimétricos, reflejando un ambiente menos profundo. Este miembro incluye calizas oolíticas y calizas mudstone y wackestone de tonos claros, ricas en fósiles como anélidos, foraminíferos y fragmentos de bivalvos. En áreas como Uchucchacua y Yumpag, se compone principalmente de calizas grainstone y packstone masivas, intercaladas con calizas de grano fino. Estas calizas grainstone puras, formadas en ambientes semi-restringidos, son parte del horizonte prospectivo del distrito minero. (Alarco & Olivera, 2024; Carlotto, 2014; Ligarda et al., 2021)

3.2.2 Marker (23 metros)

Este nivel está compuesto por unas intercalaciones finas de calizas grainstone con foraminíferos y gasterópodos gruesos, mudstone margosos laminares y calizas margosas mudstone-wackestone nodulares con matriz bituminosa. Representa una regresión marina brusca. Tiene una potencia observada de 23 metros.

3.2.3 Miembro Jumasha Superior - Coniaciano a Santoniano (86.3 a 83.6Ma)

Este miembro está dividido en cuatro niveles u horizontes, cada uno con características litológicas y de contenido fósil particulares:

- **Horizonte Gasterópodos (180 metros):** Este horizonte tiene un espesor entre 150 y 180 metros, presenta una litología similar al miembro Jumasha Medio. Los bancos son menos espesos y se observa una mayor presencia de calizas bioclásticas entre packstone y grainstone. Litológicamente, este horizonte es casi indistinguible del Jumasha Medio, con foraminíferos bentónicos de plataforma (como alveolinas y miliólidos) y gasterópodos centimétricos de concha gruesa, los cuales han sido reemplazados por calcita. Este nivel contiene el mineral del Sector Tomasa de Yumpag.
- **Nivel Bioturbado (20 metros):** Este nivel representa una unidad intermedia entre los dos horizontes favorables del yacimiento, con un espesor aproximado de 20 metros, caracterizado por calizas gris oscuro de texturas que oscilan entre mudstone y wackestone. Es importante señalar que la denominación "bioturbado" asignada a este nivel no corresponde a la definición estricta del término, sino que hace referencia a la presencia de materia orgánica (bitumen) removilizada.
- **Horizonte Beta (60 metros):** El nivel Beta se reconoce como uno de los horizontes más propicios para la mineralización presente en los depósitos del Sistema Tomasa y Camila. Este horizonte tiene espesores relativamente modestos, que oscilan entre 40 y 60 metros, y está compuesto por tres subhorizontes bien diferenciados. Los dos

subhorizontes externos corresponden a calizas limpias, caracterizadas por una transición textural de mudstone-wackestone a packstone-grainstone, acompañada de una mayor abundancia de foraminíferos, tanto largos como cortos. Entre estos dos subhorizontes se encuentra un nivel intermedio compuesto por calizas denominadas "bioturbadas", que en realidad presentan venillas de bitumen removilizado con formas nodulares. Es importante destacar que estos subhorizontes muestran espesores similares en todos los sondajes analizados.

- **Nivel Margoso (200 metros):** El nivel superior de los que componen la Formación Jumasha tiene un espesor promedio de 200 metros, haciéndose más profundo al Este, y angostándose relativamente hacia el Oeste. Este miembro presenta una secuencia cíclica rítmica de calizas margosas negras masiva con calizas margosas nodulares oscuras y niveles delgados de calizas limpias. Se dividió convenientemente en tres secuencias diversas, un primer nivel de calizas margosas y bioturbadas oscuras, que seguidamente pasa a una secuencia de facies de buen espesor entre los 85 y 144 metros de intercalaciones entre calizas limpias y calizas margosas; finalmente, hacia el O, se ve en los últimos 45 metros de este nivel solo un cambio textural de las facies anteriores, aumentando hasta packstone, mientras que hacia el E son netamente de calizas margosas y bioturbadas. Las pocas ocurrencias de mineral encontradas en el Proyecto Yumpag en este horizonte, tienen un desarrollo muy limitado por lo que a efectos prácticos lo consideramos una zona no prospectiva.

3.2.4 Formación Celendín (220 metros)

La Formación Celendín se atribuye al Cretácico Superior, específicamente al Campaniano-Maastrichtiano. Fue descrita por primera vez por Wilson y Reyes (1964) y en su primera descripción se define principalmente por lutitas y areniscas turbidíticas, depositadas en un ambiente marino profundo. Se encuentra ampliamente distribuida en la sierra norte del

Perú, especialmente en la región de Cajamarca. Sin embargo, localmente representa una sucesión de rocas sedimentarias marinas que se depositaron en el contexto de la cuenca del Marañón, una gran cuenca de antepaís que se formó como respuesta a la orogenia andina. La formación está compuesta principalmente por lutitas y margas grises, así como calizas margosas y ocasionalmente areniscas finas. Esta combinación de litologías sugiere que se depositó en un ambiente marino relativamente profundo y tranquilo, posiblemente en una plataforma continental distal o en el talud. En las cercanías de Yumpag y Uchucchacua está dividido en dos miembros, descritos por Rolando Ligarda y su equipo de exploraciones en (2015):

- **Miembro Celendín Inferior:** También es llamado Jumasha 4 por Romaní (1982) o Jumasha 7 por Jaillard (1986). Está compuesto por dos niveles u horizontes, el primero "Horizonte laminar" que corresponde a la intercalación de calizas margosas negras con laminación gruesa, calizas oscuras nodulares con pseudolaminación y calizas margosas negras masivas. Presenta pequeños niveles de grainstone de pellets y fragmentos de bivalvos. En campo este horizonte es muy complicado de diferenciar del "Horizonte Margoso" del Jumasha Superior. Tiene un espesor promedio de 40 metros.

  Por otro lado, tenemos el "Horizonte estromatolítico" que muestra intercalación de calizas margosas masivas y con laminación fina intercalada con yeso reemplazado parcialmente por calcita y margas verdes y negras con estromatolitos sin porosidad fenestral, por lo que nos indica un medio supramareal. Presenta ocasionalmente brechas de colapso por disolución, con clastos con laminación multidireccionada, lo que también puede indicar una transición a un ambiente más expuesto de la zona supratidal.
- **Miembro Celendín Superior:** También es llamado Celendín sensu stricto. Esta formación está compuesta mayoritariamente por margas verdes, rojas y negras estromatolíticas, intercaladas con niveles yesíferos laminares y nodulares reemplazados

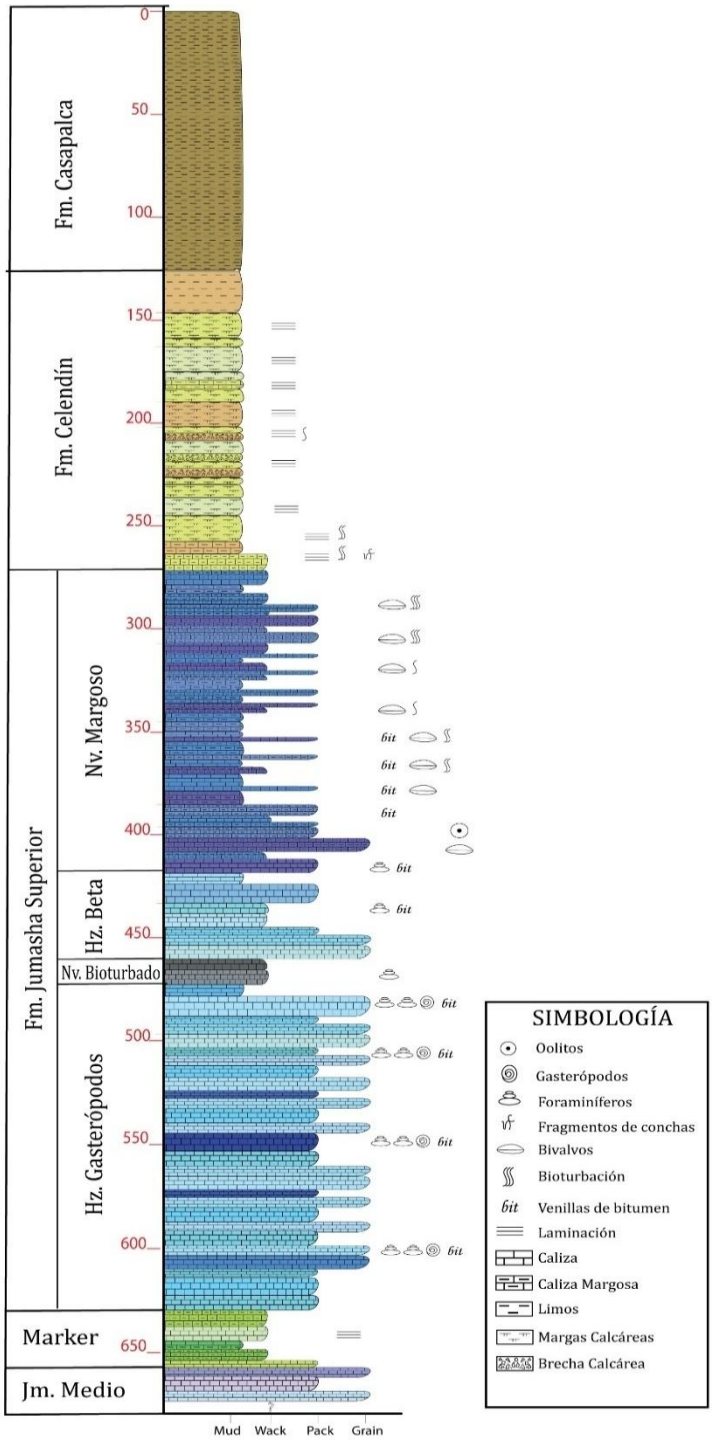
parcialmente por calcita y niveles lutíticos negros. Tiene un banco de 25 metros calcáreos a 100 metros de la base que cuyas características litológicas lo hacen indistinguible del "Horizonte Margoso" del Jumasha Superior. Presenta brechas de disolución y su potencia observada es de al menos 180 metros.

3.2.5 Formación Casapalca (200 metros)

Esta formación consiste en depósitos molásicos oxidados. Está compuesto por arcillas margosas y sedimentos detríticas de origen continental en un ambiente costero y marino somero, que se concentran en cubetas sedimentarias laterales por erosión de las cordilleras durante su levantamiento y plegamientos en las últimas fases de un ciclo tectónico. Tiene un espesor observado de entre 50 y 200 metros, yace en discordancia erosional sobre las series calcáreas del Celendín y Jumasha y están cubiertas discordantemente a su vez por la potente secuencia volcánica terciaria del Calipuy (Ángeles, 2015), aflora por toda la superficie de la Estructura Tomasa, en las pampas de Yumpag, está conformada por limoarcillas y limos calcáreos rojizos masivo casi en su totalidad, con frecuentes zonas fracturadas y falladas. Presenta una zona transicional hacia la Formación Celendín (20 metros aproximadamente) de margas y limos calcáreos rojizos con tramos verdosos con fuerte venilleo de yeso laminar en sentido de la estratificación y trazas de calcita. Cabe resaltar que en la zona de estudio su espesor desaparece por completo hacia el NE, mientras que hacia el SW viene aumentando paulatinamente hasta los 100 metros de espesor.

Figura 23

Columna Esquemática Local elaborada en la estructura Tomasa



Nota. La figura muestra la Columna Esquemática Local elaborada en la estructura Tomasa-Basada en los sondajes YUM22-333 y YUM21-222.

CAPÍTULO IV – EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y CONTEXTO ESTRUCTURAL

4.1 Contexto Geotectónico Regional

La evolución tectónica que afectó a la Formación Jumasha y los depósitos polimetálicos de Uchucchacua ha sido moldeada por una serie de eventos tectónicos que abarcan desde el Proterozoico hasta el Cenozoico. Estos eventos incluyen la ruptura de los supercontinentes Rodinia y Pangea, que generaron fallas profundas y estructuraron la corteza de la región, así como la subducción de la Placa de Nazca y la intrusión del Batolito de la Costa. La tectónica extensional inicial y los posteriores episodios de compresión, junto con los efectos de la inversión tectónica en las cuencas sedimentarias, jugaron un papel clave en la configuración estructural de la cuenca y la distribución de la mineralización. Estos procesos dieron lugar a ciclos repetidos de deformación, particularmente durante las fases Quechua, que han definido la estructura actual de la región (Jaillard et al., 2000)

4.1.1 Ruptura de Rodinia y Pangea: Formación de Fallas Extensionales

La ruptura de Rodinia en el Proterozoico tardío y las fases incipientes del rompimiento de Pangea (Triásico) generaron una serie de fallas profundas de desgarre NW-SE que afectaron el basamento de la cuenca. Estas fallas estructuraron la corteza en la que más tarde se desarrollarían cuencas sedimentarias clave, como la cuenca donde se encuentra la Formación Jumasha.

- **Ruptura de Rodinia (Proterozoico tardío, 750-650Ma):** Durante el Proterozoico tardío, la ruptura de Rodinia formó fallas de desgarre que controlaron la tectónica posterior en la región andina. Estas fallas reactivadas durante la ruptura de Pangea influenciaron la disposición de las cuencas sedimentarias y las fallas asociadas a la Formación Jumasha. (Velásquez, 2009)

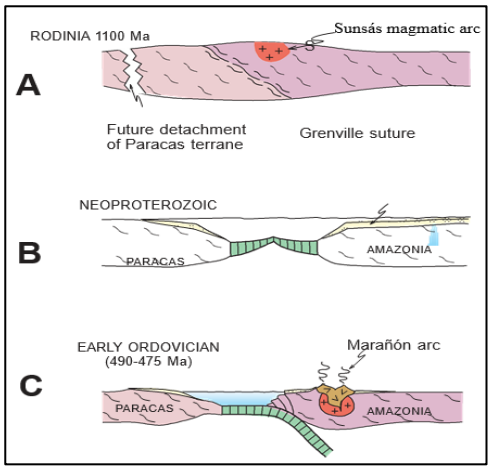
- **Ruptura de Pangea (Triásico-Jurásico, 200-175Ma):** La ruptura de Pangea fue el evento tectónico que marcó la separación de los bloques continentales que conformaban el supercontinente. En lo que hoy es el oeste de Sudamérica, la ruptura de Pangea generó una serie de cuencas extensionales y fallas normales que afectaron el margen oeste de Gondwana y controlaron la sedimentación en lo que más tarde sería la Cuenca Peruana. Estas fallas extensionales, muchas de las cuales se habían formado inicialmente durante la ruptura de Rodinia, se reactivaron durante este proceso, lo que permitió la apertura de cuencas y la acumulación de sedimentos marinos.

4.1.2 Formación del Alto Marañón (Jurásico, 200-145Ma) y la Cuenca Peruana (Jurásico-Cretácico, 200-80 Ma)

El Alto Marañón es un alto estructural importante en la cuenca sedimentaria peruana, que controló la distribución de sedimentos cretácicos y posteriores eventos tectónicos. Este alto se formó inicialmente durante la fase extensional y posteriormente fue reactivado durante la compresión del Cretácico Superior, coincidiendo con el inicio de la subducción de la Placa Nazca.

Figura 24

Secuencia de colisiones del basamento en el orógeno de acreción del sector norte de los Andes Centrales



Nota. La figura muestra la Secuencia de colisiones del basamento en el orógeno de acreción del sector norte de los Andes Centrales (basado en Feininger, 1987; Litherland, et al., 1994; Jaillard;et al, 2000;Ramos, 2009).

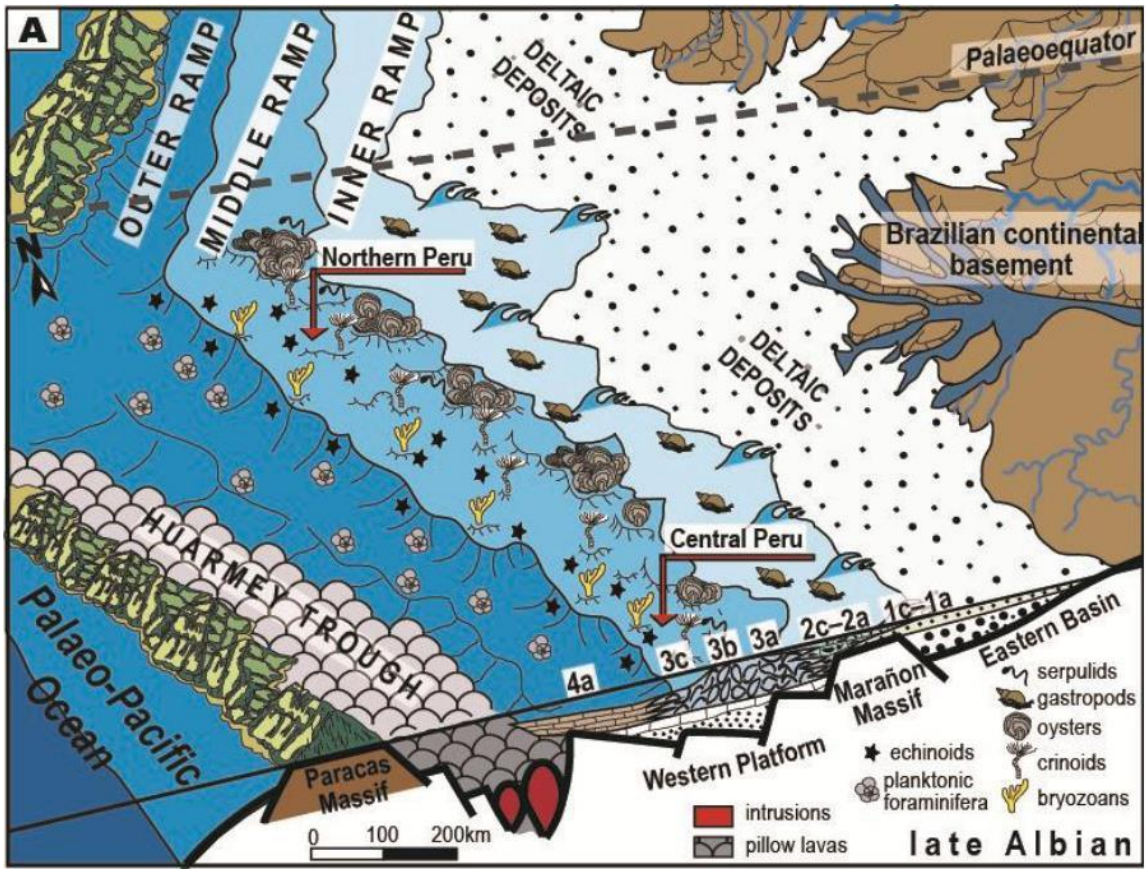
- **Fase extensional temprana:** Durante el Jurásico y el Cretácico Inferior, las fallas de desgarre NW-SE asociadas a la ruptura de Rodinia controlaron la formación de cuencas sedimentarias. El Alto Marañón funcionó como un alto estructural que separaba áreas de sedimentación. La Cuenca Peruana se formó durante este contexto, producto de la ruptura del supercontinente Pangea y la subsecuente apertura del Océano Atlántico. Durante este tiempo, la región que hoy conforma el oeste de Sudamérica experimentó una extensión tectónica, lo que permitió la creación de cuencas sedimentarias que acumularon grandes volúmenes de sedimentos.

  De acuerdo con Navarro-Ramírez et al. (2008), el sistema sedimentario se inició durante el Albiano Superior, con el desarrollo de una plataforma carbonatada regional que recibió un notable aporte de material terrígeno derivado de la erosión del Cratón Brasileño. Posteriormente, durante el Cenomaniano Temprano, la actividad del arco volcánico de Huarmey y el levantamiento del Bloque del Marañón tuvieron un impacto significativo en la composición litológica de las calizas de la Formación Jumasha (Wilson, 1963), al restringir el suministro de material terrígeno proveniente del continente brasileño hacia la plataforma carbonatada occidental. (Navarro, 2008)

  La Formación Jumasha está compuesta predominantemente por calizas y dolomitas (Alarco & Olivera, 2024) depositadas en una plataforma carbonatada extensa, de aguas someras, durante el Cretácico Medio (Albiense-Cenomaniano). Estos depósitos alcanzan espesores de más de un kilómetro, lo que sugiere una acumulación sostenida de sedimentos en un ambiente de baja energía. Este gran espesor en Jumasha es resultado de una combinación de factores, entre los que se incluyen la subsidencia de la cuenca y el alto ratio de sedimentación en una plataforma marina somera, alimentada por carbonatos biogénicos, y posiblemente por periodos de subsidencia tectónica asociados a la apertura del Atlántico y la tectónica extensional en la región.

Figura 25

Análisis del proceso de formación de la plataforma occidental durante el Albiano Superior



Nota. La figura muestra el análisis del proceso de formación de la plataforma occidental durante el Albiano Superior. Basado en Navarro et al. (2017).

4.1.3 Subducción de la Placa de Nazca y Transición de Extensión a Compresión en el Cretácico Superior (Cenomaniano-Conaciano)

Durante el Cenomaniano-Conaciano (100-80 Ma), los esfuerzos tectónicos en la región andina cambiaron de extensión a compresión debido a la subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana. Este cambio causó la inversión tectónica de la Cuenca Peruana y la reactivación del Alto Marañón, generando pliegues, cabalgamientos y fallas inversas que deformaron las unidades mesozoicas, incluidas las calizas de la Formación Jumasha, formando lo que actualmente se conoce como la Faja Plegada y Corrida del Marañón.

El cambio de extensión a compresión fue crucial para la deformación de las secuencias sedimentarias. Este evento también favoreció la preparación de estructuras preexistentes, que más adelante tomarían gran papel en los depósitos polimetálicos en el distrito minero.

4.1.4 Intrusión del Batolito de la Costa y Levantamiento Andino (Cretácico Superior)

Hacia el Cretácico terminal (70-65 Ma), la subducción de la Placa Nazca resultó en la intrusión del Batolito de la Costa en la región andina. El levantamiento final de la Cordillera de los Andes y la inversión de la cuenca provocaron la creación de nuevas fallas y pliegues en la Faja Plegada y Corrida del Marañón.

La intrusión del Batolito de la Costa aumentó las temperaturas locales, promoviendo la actividad hidrotermal y la mineralización asociada con las fallas estructurales que ya existían en Uchucchacua. (Ramos, 2009)

4.1.5 Desarrollo de la Faja Plegada y Corrida del Marañón

Las fallas profundas formadas durante la ruptura de Rodinia y reactivadas durante la ruptura de Pangea proporcionaron los controles estructurales que posteriormente influyeron en la sedimentación del Cretácico y la configuración de los depósitos en la Formación Jumasha.

La compresión tectónica continuó durante el Cenozoico, con una serie de eventos de levantamiento andino que siguieron afectando la región de la Faja Plegada y Corrida del Marañón. Estos eventos causaron una mayor deformación de las unidades sedimentarias y contribuyeron a la generación de la estructura actual de la faja. (Megard, 1984)

Durante esta fase, la faja sufrió un mayor plegamiento y cabalgamiento, afectando las rocas mesozoicas, incluyendo las formaciones de calizas y lutitas del Cretácico (Formación Chicama, Grupo Goyllarisquizga y las unidades calcáreas del Cretácico).

La reactivación de fallas extensionales durante los episodios de compresión del Cretácico y Cenozoico permitió la formación de zonas de alta extensión y la circulación de fluidos mineralizantes, controlando la distribución de zonas mineralizadas en el Distrito

Minero de Uchucchacua (Ramos, 2009), polimetálicos como Raura, Antamina, además de otros, tipo epitermal como Yanacocha, Lagunas Norte. Cerca de Yumpag, estas estructuras con orientación N60 se formaron bajo un régimen transpresivo de tipo dextral, el cual generó la apertura de fracturas tensionales con dirección ENE-WSW a E-W. Estas fracturas no solo actuaron como conductos de alimentación, sino que también fueron mineralizadas, siendo las principales vías de transporte y deposición de la mineralización aurífera (Ligarda et al., 2017).

4.1.6 Fase Extensional Intra-arco (Oligo Mioceno)

Durante el Oligo-Mioceno, la cuenca intra-arco experimentó una fase extensional que permitió la formación de nuevos bajos y altos intra-cuenca. Esta fase extensional se asocia con variaciones en el ángulo de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Durante ciertos periodos, la subducción estuvo relacionada con la subducción plana (*shallow*), lo que llevó a un levantamiento generalizado de la cordillera, seguido de periodos en los que la subducción se volvió más empinada (*steep*), lo que causó extensión local en la franja intra-arco.

En este contexto, mientras el resto de la Cordillera de los Andes estaba en compresión durante las fases Quechua, responsables del desarrollo del grupo Calipuy, algunas áreas intra-arco experimentaron un estiramiento de la corteza, creando espacios para la formación de cuencas y la acumulación de sedimentos.

Aunque este evento es posterior a la formación Jumasha, puede haber reactivado fallas preexistentes, contribuyendo a la migración de fluidos hidrotermales que completaron la mineralización en las vetas y cuerpos del distrito minero. (Ramos, 2009)

En conclusión, la evolución tectónica que afectó a la Formación Jumasha y los depósitos polimetálicos de Uchucchacua fue impulsada por una combinación de eventos extensionales y compresivos a lo largo de diferentes etapas tectónicas. Desde las primeras fases de ruptura de Rodinia y Pangea, que formaron las fallas profundas que estructuraron la corteza

de la región, hasta los eventos de subducción de la Placa Nazca y la intrusión del Batolito de la Costa, la región ha experimentado ciclos repetidos de deformación que han moldeado la estructura actual de la cuenca con las fases Quechua.

Los controles estructurales ejercidos por fallas corticales y las zonas de transferencia a lo largo de la cuenca desempeñaron un papel clave en la concentración de mineralización de Uchucchacua y Yumpag, lo cual se verá con mayor detalle en el contexto estructural. Además, la alternancia de fases de extensión y compresión permitió la creación de zonas de debilidad y favoreció la circulación de fluidos hidrotermales, lo que resultó en la mineralización polimetálica que caracteriza el distrito minero.

4.2 Contexto Estructural

Según Gil (2024), el distrito minero de Uchucchacua posee una arquitectura actual con bastante potencial exploratorio, sin embargo, una configuración muy compleja, pero que responde a eventos específicos antes mencionados en el contexto geodinámico regional.

A nivel de la concesión de Buenaventura, el principal elemento morfoestructural del distrito es la Faja Plegada y Corrida del Marañón (FPCM), con aproximadamente 50 km de ancho, cuyo dominio de corrimientos responde a una dirección NW-SE, con vergencia al NE; asociado directamente a la Tectónica Andina del Eoceno-Oligoceno. Localmente se identifican unas lineaciones con dirección muy cercana al N-S (Falla Colquicocha), que corresponden a la flexión provocada por el desarrollo de las fallas de rumbo dextrales de dirección NE-SW y sus asociadas.

La tectónica regente para la FPCM es de piel delgada o también conocida como thin-skin, que hacia el Oeste limita con el Batolito de la Costa, mientras que al Este limitaría con el mencionado Alto Marañón. Dentro de este contexto es importante mencionar que el frente del corrimiento corresponde a otro elemento morfoestructural importante como lo es el Anticlinal de Uchucchacua formado posiblemente durante el Oligoceno Superior (Gil , 2024) controlado

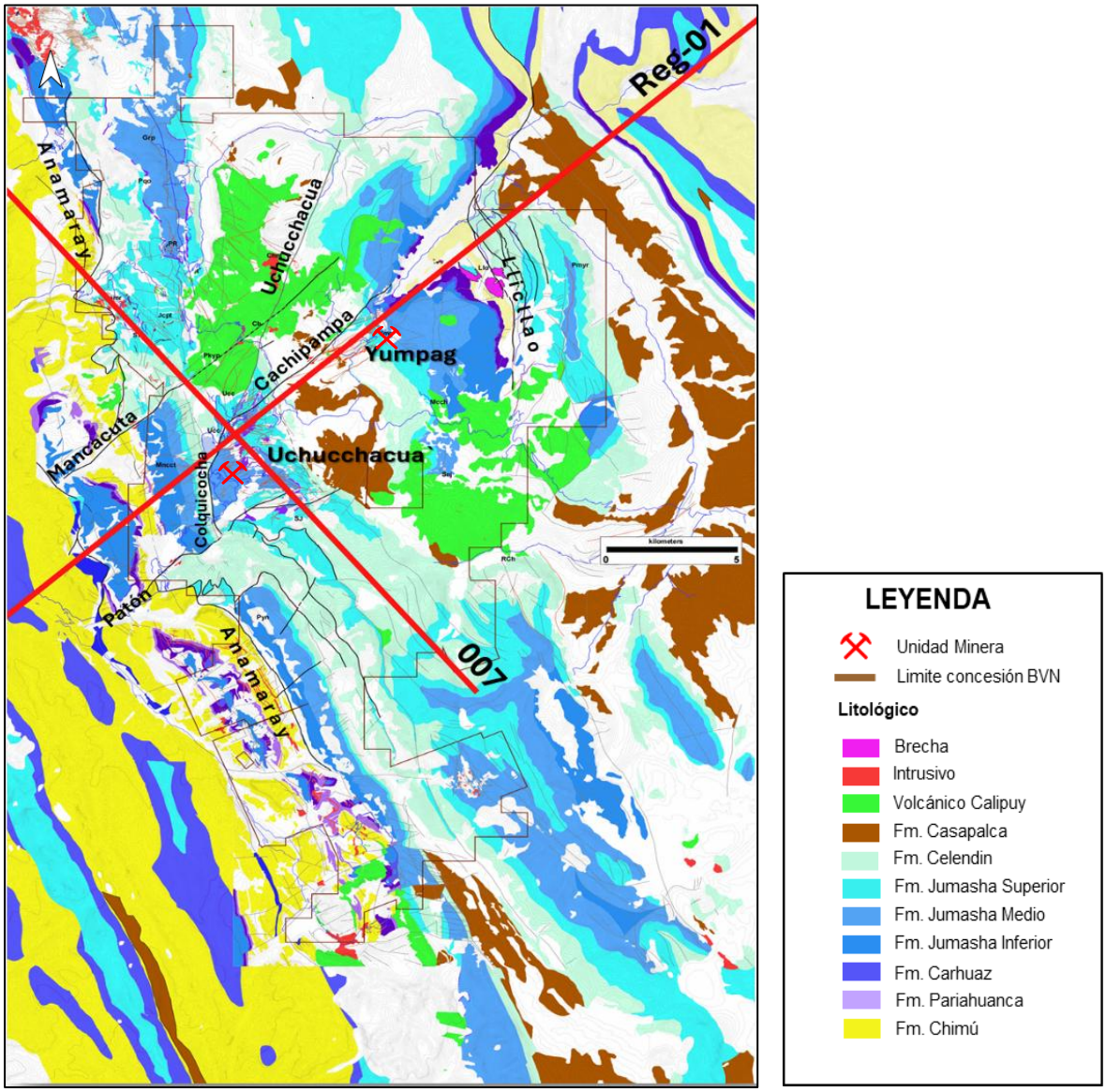
por un sistema de fallas de piel gruesa o thick-skin. Este elemento actualmente marca un objetivo importante para la prospección mineral por sus características estructurales y litológicas.

En este informe detallado de reconstrucción estructural y secciones balanceadas se definen 14 estructuras principales enumeradas de Oeste a Este y de Norte a Sur:

1. Corrimiento Anamaray.
2. Falla inversa Chacuapunta (ciega)
3. Falla Inversa Llicllao
4. Falla Inversa Chinche
5. Anticlinal de Luzo
6. Anticlinal de Jancapata
7. Anticlinal de Uchucchacua
8. Anticlinal de Chacuapunta
9. Monoclinal de Yumpag y Llicllao
10. Falla de Rumbo de Mancacuta
11. Falla de rumbo de Cachipampa
12. Falla de Rumbo Patón
13. Falla Normal de Uchucchacua
14. Falla Normal de Colquicocha

Figura 26

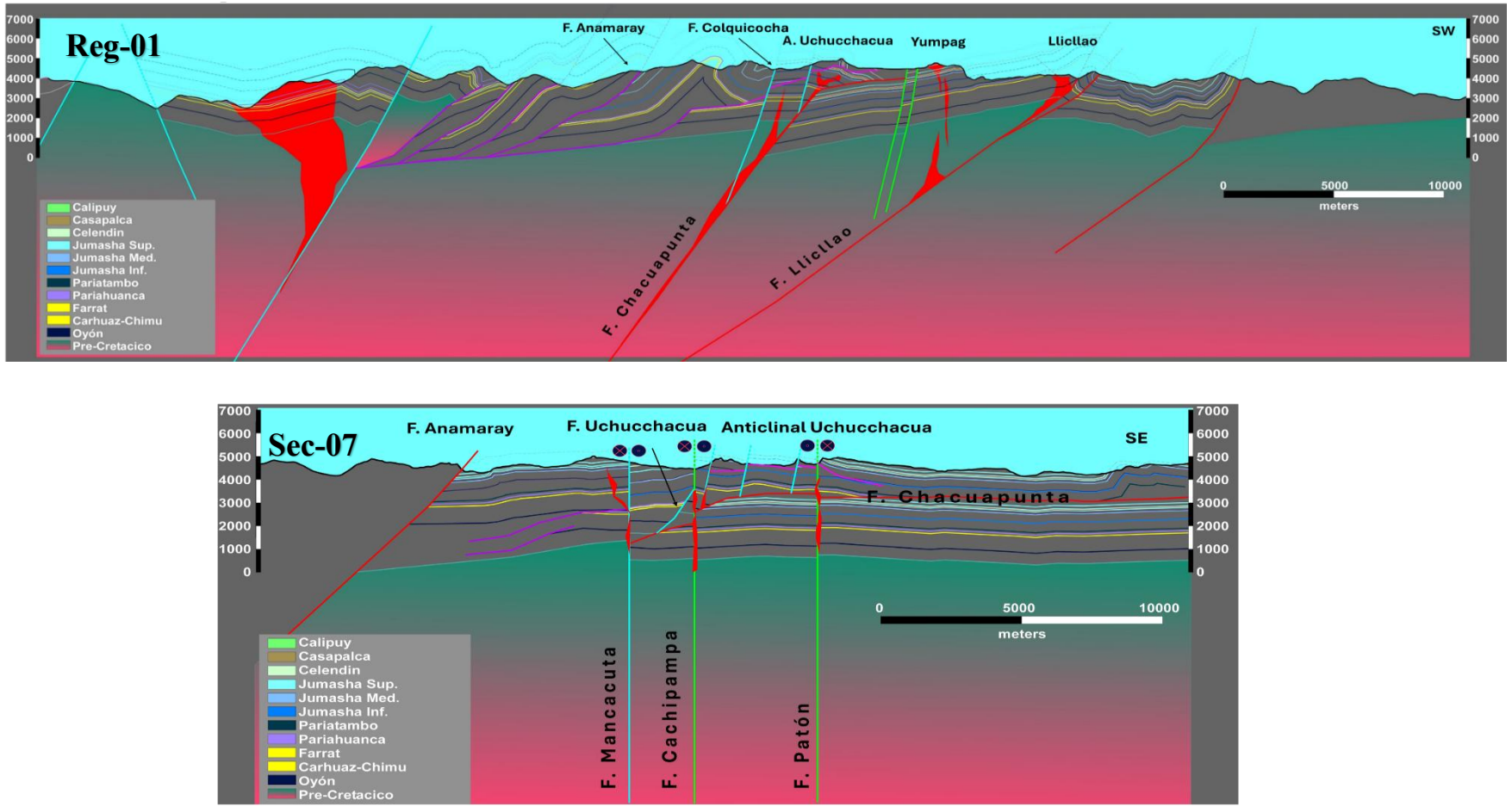
Elementos Morfoestructurales del distrito minero de Uchucchacua



Nota. En la figura se muestra el mapa de los Elementos Morfoestructurales del distrito minero de Uchucchacua. Extraído de Interpretación y Modelo Geológico Estructural entre las Unidades y Proyectos Mineros Yumpag, Uchucchacua, Chonta, Anamaray, Cubo y Llicllao por Gil (2024).

Figura 27

Secciones estructurales distritales Reg-01 y Sec-07



Nota. La figura muestra las secciones estructurales distritales Reg-01 y Sec -07. Obtenido de Interpretación y Modelo Geológico Estructural entre las Unidades y Proyectos Mineros Yumpag, Uchucchacua, Chonta, Anamaray, Cubo y Llicllao por Gil (2024).

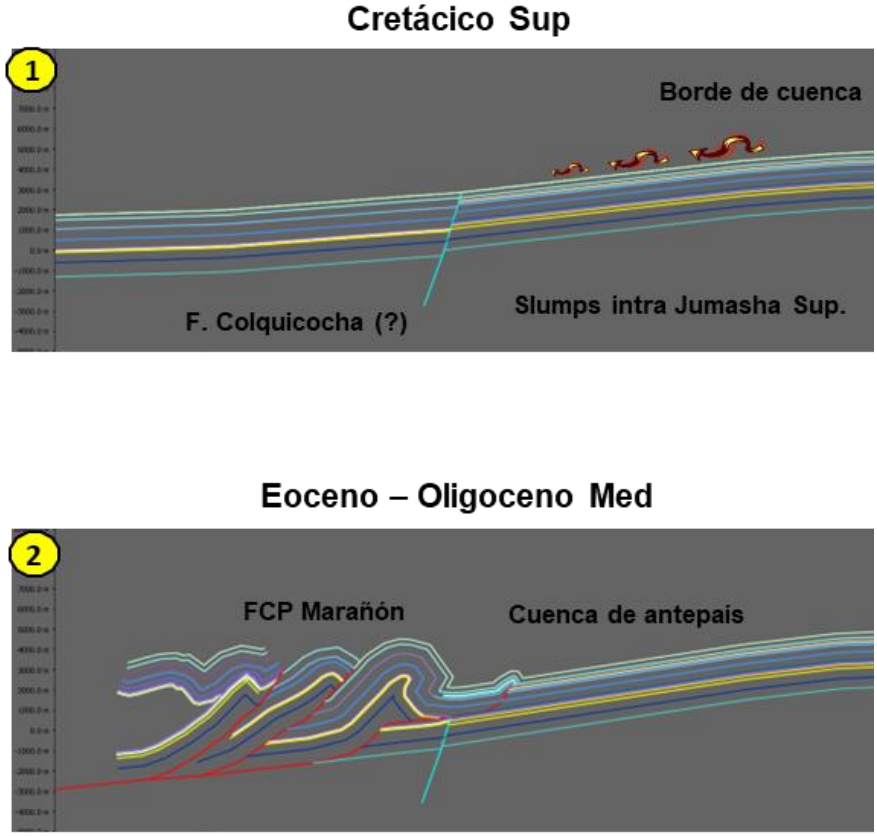
4.2.1 Cronología de Eventos

Se tiene edades relativas de deformación basadas en observaciones geométricas y cinemáticas en la reconstrucción y modelado estructural del distrito minero (Gil , 2024).

- El primer evento compresivo ha sido documentado con anterioridad que corresponde al emplazamiento de la Faja Plegada y Corrida del Marañón, con edad comprendida entre el Eoceno y Oligoceno (Megard, 1984). Los anticlinales de Luzo y Jancapata eatarían relacionados a este evento, al igual que otras estructuras hacia el Oeste como el Corrimiento de Anamaray

Figura 28

Configuración Estructural Distrital en el Cretácico Superior y el Eoceno-Oligoceno



Nota. La figura 1 muestra Configuración estructural distrital durante el Cretácico Superior. Y la figura 2 muestra la Configuración estructural distrital durante el Eoceno-Oligoceno. Obtenido de Interpretación y Modelo Geológico Estructural entre las Unidades y Proyectos Mineros Yumpag, Uchucchacua, Chonta, Anamaray, Cubo y Llicllao por Gil (2024).

Los Anticlinales de Uchucchacua y Chacuapunta, en las cercanías del Monoclinal de Yumpag, poseen un corrimiento volcado sobre casi toda la continuidad de estas estructuras y representarían la zona frontal de la FPCM.

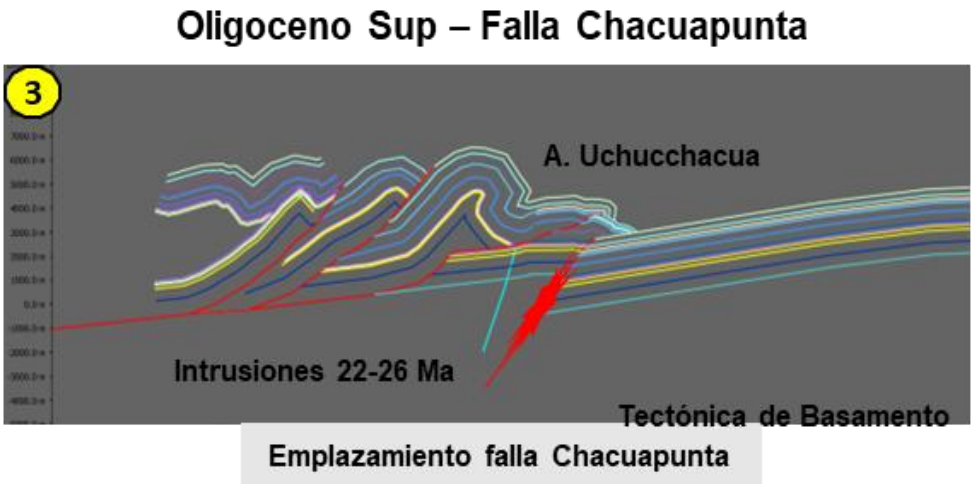
Fotografía 1

Frente de Corrimiento de la FPCM, Pliegue volcado de Chacuapunta



Figura 29

Configuración Estructural -Oligoceno Chacuapunta



Nota. La figura muestra la configuración estructural distrital durante el Oligoceno Superior. Obtenido de Interpretación y Modelo Geológico Estructural entre las Unidades y Proyectos Mineros Yumpag, Uchucchacua, Chonta, Anamaray, Cubo y Llicllao por Gil (2024).

- El siguiente evento compresivo está asociado a una tectónica de basamento y su expresión en la zona de estudio corresponde a las Fallas Chacuapunta y Llicllao, siendo la primera la que originaría el desarrollo del Anticlinal de Uchucchacua con su continuación del Anticlinal de Chacuapunta, mientras que la Falla Llicllao estaría preliminarmente asociada al origen del Monoclinal Yumpag y sus intrusivos.

La importancia de estas fallas podría definir el principal canal cortical de mineralización tanto para el yacimiento de Uchucchacua como para Yumpag, así como para otros proyectos aledaños con potencial exploratorio como es la Diatrema de Llicllao.

Figura 30

Configuración Estructural -Oligoceno Falla Llicllao

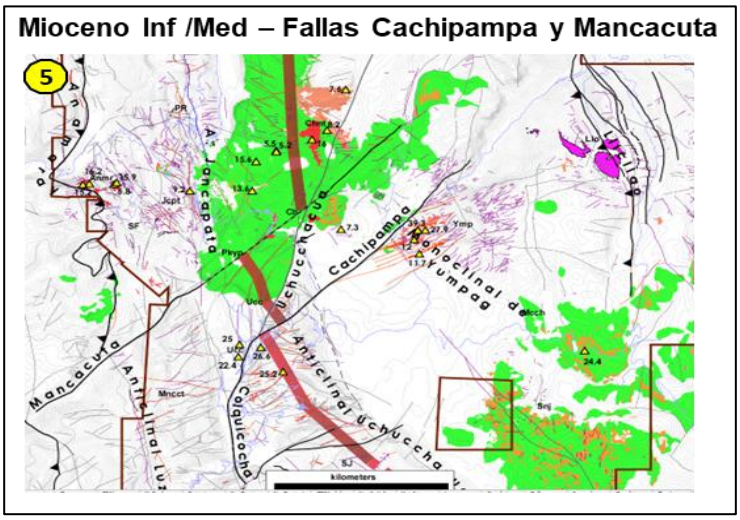


Nota. La figura muestra la configuración estructural distrital durante el Oligoceno Superior-Falla Llicllao. Obtenido de Interpretación y Modelo Geológico Estructural entre las Unidades y Proyectos Mineros Yumpag, Uchucchacua, Chonta, Anamaray, Cubo y Llicllao por Gil (2024).

Después de la formación del Anticlinal de Uchucchacua, un sistema de Fallas de rumbo dextral corticales con dirección N 60° lo disecciona en tres cuerpos. Estas son la Falla Cachipampa con desplazamiento horizontal de hasta 350 metros y Falla Mancacuta cuyo rechazo horizontal puede llegar a alcanzar los 2600 metros. Por el Sur del distrito otra falla del mismo sistema, Falla Patón, parece controlar otras zonas de potencial exploratorio. Cabe resaltar que la continuidad del Anticlinal de Chacuapunta se pierde hacia el Norte cubiertos por los volcánicos del Calipuy.

Figura 31

Disección del Anticlinal Uchucchacua -Chacuapunta por las fallas Cachipampa y Mancacuta

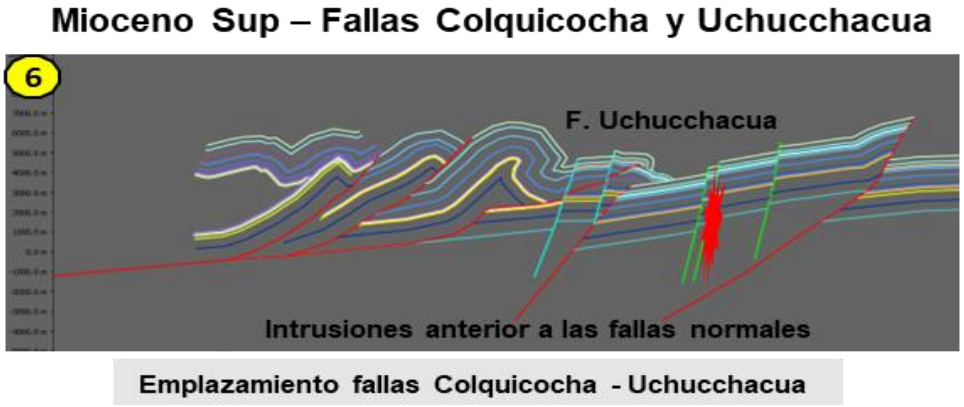


Nota. Obtenido de Interpretación y Modelo Geológico Estructural entre las Unidades y Proyectos Mineros Yumpag, Uchucchacua, Chonta, Anamaray, Cubo y Llicllao por Gil (2024).

Posterior a la instauración de la configuración por fallas de rumbo dextral se tiene a las fallas normales posteriores como Uchucchacua y la reactivación de la falla Colquicocha que son posiblemente originadas por un evento de relajación originando colapsos localizados.

Figura 32

Configuración Estructural -Oligoceno Falla Colquicocha y Uchucchacua



Nota. La figura muestra las fallas normales Colquicocha y Uchucchahua. Obtenido de Interpretación y Modelo Geológico Estructural entre las Unidades y Proyectos Mineros Yumpag, Uchucchacua, Chonta, Anamaray, Cubo y Llicllao por Gil (2024).

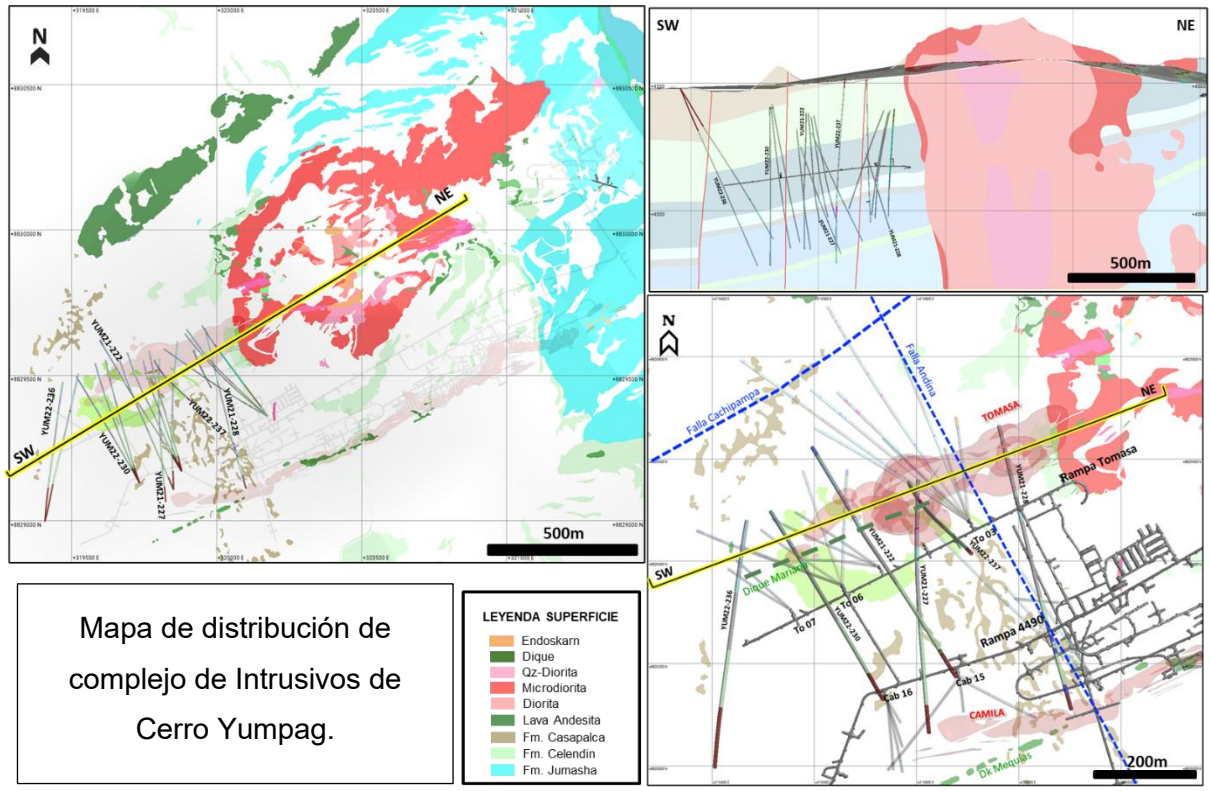
CAPÍTULO V – MAGMATISMO Y PROCESOS HIDROTERMALES

5.1 Plutonismo

Las rocas intrusivas que afloran en el área de estudio corresponden al llamado Cerro Yumpag a lo largo de 1.5km en dirección SW-NE con un ancho de 0.6km en sentido SE-NW, se ubican hacia el NE de los cuerpos Bolones 1 y 2 de la estructura Tomasa y corresponden al complejo de Intrusivos del Grupo Calipuy. (figura 35)

Figura 33

Mapa de distribución de Complejo de Intrusivos de Cerro Yumpag



Nota. La figura muestra el mapa de distribución de Complejo de Intrusivos de Cerro Yumpag e incluye sondajes analizados para la presente tesis.

Cabe mencionar que este complejo no está relacionado directamente a la mineralización en el yacimiento de Yumpag, sin embargo, la composición y dataciones permiten dar una cronología relacionada a la mineralización, sobre todo con respecto al dique de composición andesítica que usualmente está relacionado al emplazamiento de la Estructura Camila.

El reconocimiento en campo y los estudios de microscopía tomadas en la zona de estudio durante los últimos años, demuestra que el mencionado Cerro Yumpag es un complejo de intrusivos dioríticos y diques andesíticos relacionados, en contacto con calizas y margas, afectados por skarnización y mineralización (Morche, 2018)

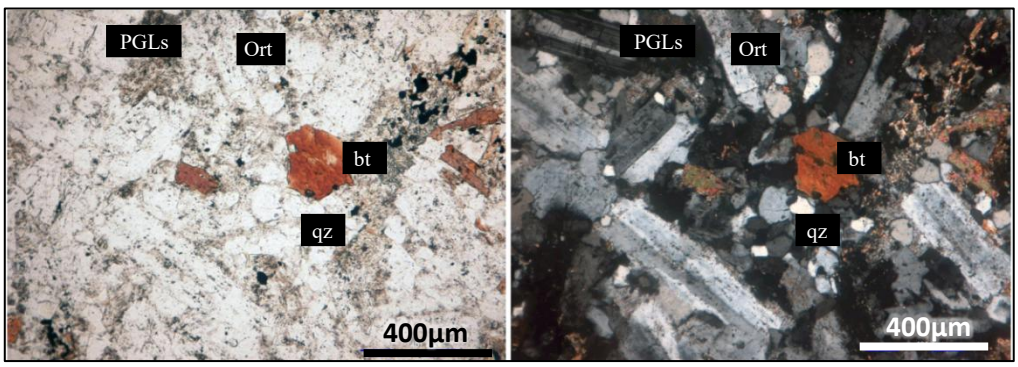
A. Complejo Intrusivo Diorítico

Se identificó una zona compuesta por microdiorita con textura fanerítica, caracterizada por una débil cloritización, pirita diseminada y trazas esporádicas de pirrotita. Además, se observaron venillas aisladas de calcosilicatos blancos, posiblemente tremolita y wollastonita, productos del metasomatismo en interacción con la caliza encajonante.

Durante los análisis recientes realizados por Morche (2018) en muestras microscópicas de sondajes que intersectan este complejo intrusivo, se evidenció una discrepancia en la composición inicialmente descrita. En lugar de microdiorita, se identificó una tonalita de textura fanerítica inequigranular, que contiene inclusiones de xenolitos de diorita. Esta tonalita muestra una alteración incipiente de biotita-magnetita, mientras que los minerales máficos han sido reemplazados en gran medida por sulfuros (pirita) y presentan un ligero magnetismo. En su contacto, la tonalita se asocia con una diorita de grano fino compuesta por plagioclasa, máficos y opacos, alterada principalmente a clorita y epidota.

Figura 34

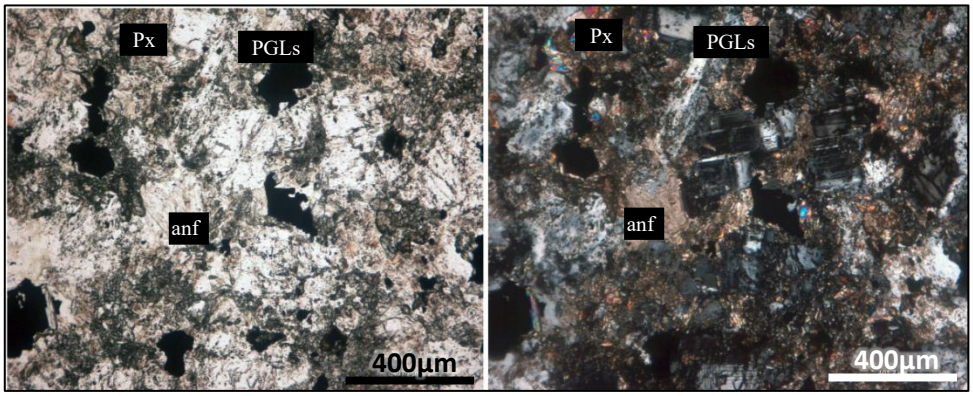
Roca huésped: Tonalita – plagioclasa (PGLs) – cuarzo(qz) > ortosa (ort)– biotita(bt) – opacos



Nota. La figura muestra la Roca huésped: Tonalita - plagioclasa – cuarzo > ortosa – biotita – opacos y se muestra débil alteración clorita – epidota – opacos. Obtenido de Informe de Morche (2018).

Figura 35

Xenolito diorítico: alteración de epidota, calcita, clorita y opacos

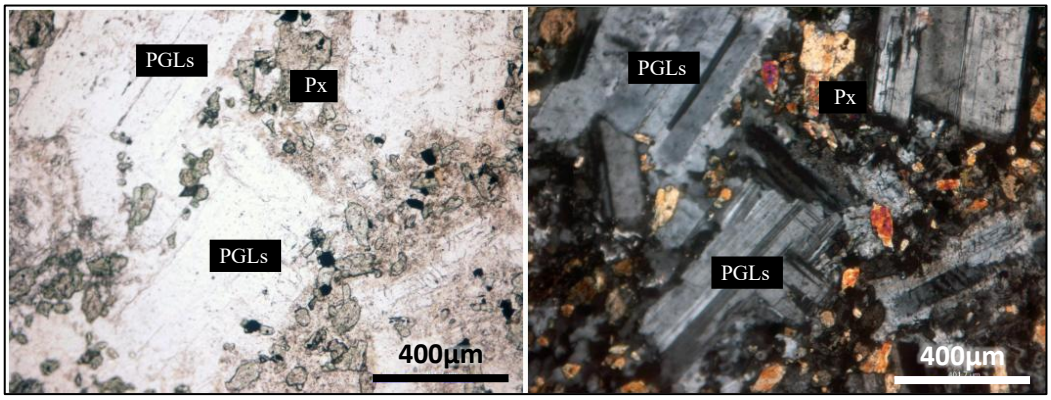


Nota. Obtenido de Informe de Morche (2018).

La diorita del complejo se compone de plagioclasas (PGLs), piroxenos (px), anfíboles y opacos (magnetita y sulfuros/pirita) con matriz magnética. Hacia los halos se desarrolla un frente de skarnización con granates verduscos y pardos, piroxenos (diópsido –hedenbergita), epidota, calcita, clorita, cuarzo, y wollastonita como fases tardías. Incluso, se ve un desarrollo hacia los bordes de Exoskarn distal en caliza recristalizada/mármol gris claro, textura granoblástica.

Figura 36

Plagioclasas (PGLs) y matriz reemplazada por epidota – piroxenos(Px) – cuarzo

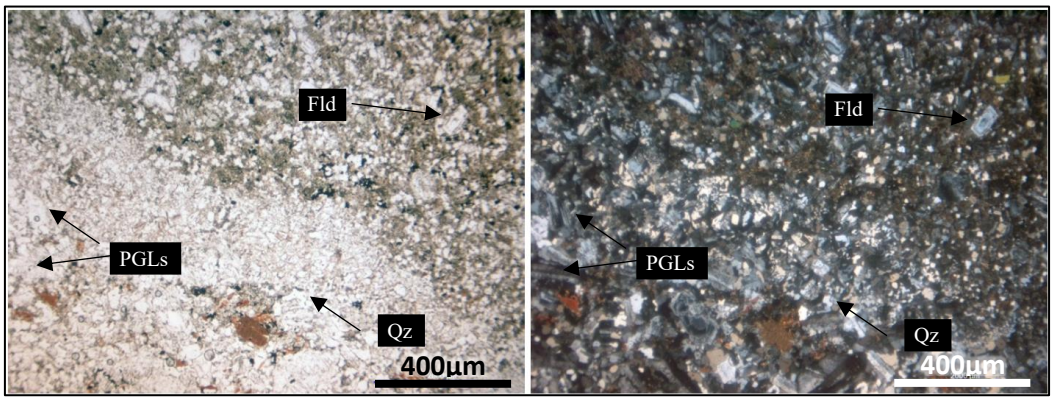


Nota. Obtenido de Informe de Morche (2018).

En cuanto a cronología de emplazamiento, al parecer la tonalita es más joven que la diorita por algunas evidencias de contacto invasivo de agregados anhedrales de cuarzo-feldespato grano fino al borde de la tonalita con respecto a la diorita de grano media. Textura subparalela de plagioclasas en el borde de la tonalita.

Figura 37

Zona de contacto entre tonalita y diorita de grano más fino. Zona de reacción cuarzo(qz) - feldespatos(Fld), alineación de plagioclasas de la tonalita



Nota. Obtenido de Informe de Morche (2018).

B. Dique Andesítico Mequías

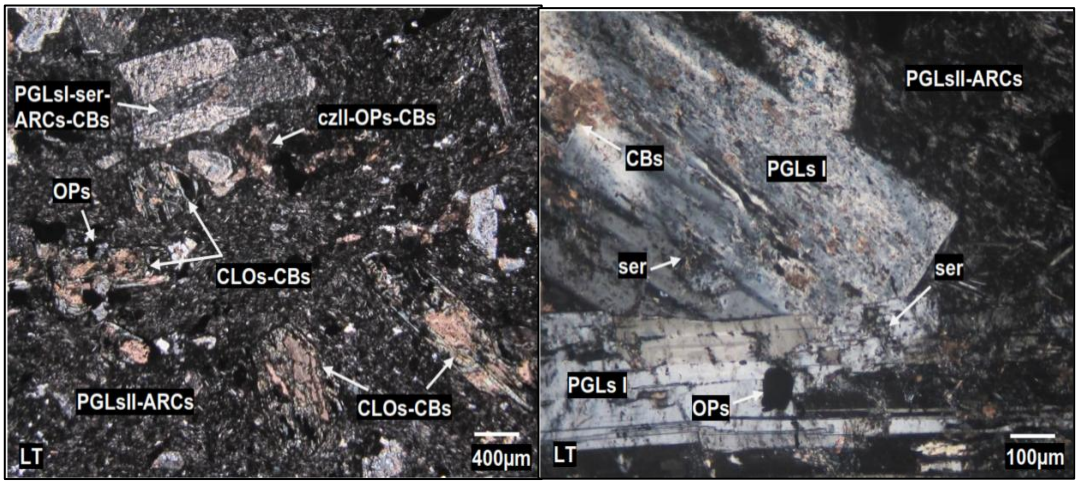
Espacialmente el dique andesítico denominado Mequías está relacionado a la mineralización en la Estructura Camila, por su ocurrencia se sugiere que su emplazamiento fue contemporáneo a la mineralización de todo el yacimiento.

Microscópicamente está definido como una andesita porfirítica con fenocristales de plagioclasas subhedrales, ferromagnesianos (anfíboles > piroxenos). Además, presenta fragmentos co-magmáticos faneríticos con márgenes interdigitadas en la matriz de la andesita.

La matriz microcristalina con textura intergranular compuesta de plagioclasas tabulares se encuentra alterada a illita, sericita y clorita; así como los máficos están alterados a clorita y opacos. Seguida por carbonatos reemplazando parcialmente los fenocristales.

Figura 38

Fenocristales de plagioclasas y moldes de ferromagnesianos



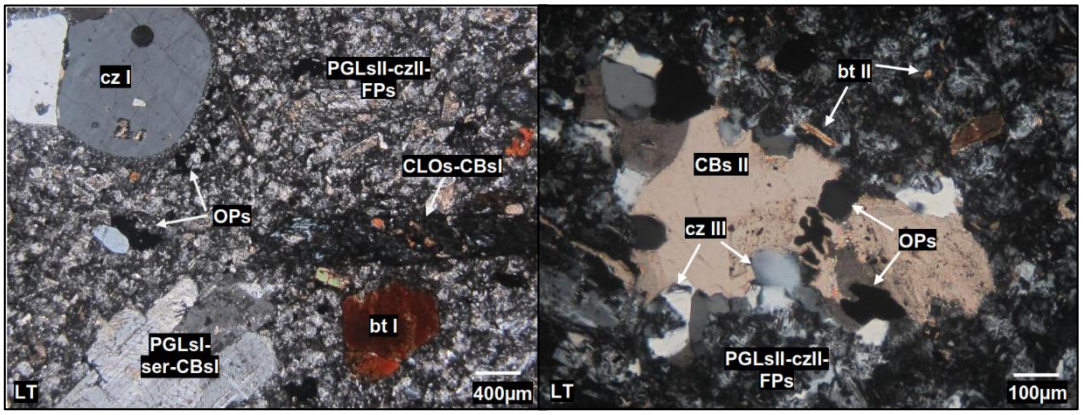
Nota. La figura muestra Fenocristales de plagioclasas I alteradas por sericita, arcillas y carbonatos (PGLsI-ser-ARCs-CBs) y moldes de ferromagnesianos (posibles anfíboles) completamente alterados por agregados de cloritas y carbonatos (CLOs CBs). En una matriz de textura fluidal, formada por pequeños cristales de plagioclasas II alteradas por arcillas (PGLsII-ARCs). Con cavidades rellenas por cuarzo ll,minerales opacos y carbonatos (czll-OPs-CBs).

C. Diques Dacíticos

Tanto al SW de la Estructura Camila como la Estructura Tomasa, se tienen cortes de diques dacíticos. En Camila, este dique se encuentra sobreimpuesto al Dique Mequías, mientras que para el área de Tomasa es la única evidencia de cuerpo subvolcánico dacítico. Corresponde a una roca volcánica con textura porfirítica, donde se aprecian fenocristales de plagioclasas (alteradas por carbonatos, sericita y arcillas, con inclusiones de zircón), biotita (alterada por carbonatos y con inclusiones de apatito), cuarzo y moldes de ferromagnesianos (posibles anfiboles; completamente alterados por cloritas, óxidos de titanio, carbonatos y en ocasiones por biotita). En la matriz se ven pequeños cristales de plagioclasas que han sido englobadas por agregados de cuarzo – feldespatos con textura micropoiquilítica (como producto de la desvitrificación). Además, presentan cavidades que han sido rellenadas por cristales de cuarzo, carbonatos y minerales opacos.

Figura 39

Fenocristales de plagioclasas y moldes de ferromagnesianos



Nota. La figura muestra Fenocristales de plagioclasas I, alteradas por sericita y carbonatos I (PGLsIser-CBsI), biotita I (btI), cuarzo I (czI) y moldes de ferromagnesianos (posibles anfíboles) completamente alterados por agregados de cloritas y carbonatos I (CLOsCBsI). En una matriz formada por cristales de plagioclasas II (PGLs II) englobadas por agregados de cuarzo II-feldespatos (PGLsII-czII-FPs) con minerales opacos (OPs) en intersticios.

5.2 Cronología de Emplazamiento y Mineralización

El ciclo de mineralización para depósitos de skarn, pórfidos y polimetálicos relacionados a intrusivos del Mioceno circulan desde los 8 hasta los 22Ma.

El evento tectónico relacionado a la formación de la faja plegada del Marañón y la Cordillera Blanca es primera fase Inca durante el Eoceno, factor condicionante para la evolución de magmas durante el Mioceno, y, por lo tanto, para los fluidos magmáticos-hidrotermales, siendo el Grupo Calipuy el que se relaciona directamente en el Yacimiento Yumpag. En el año 2020 se realizaron análisis de geocronología en los principales cuerpos subvolcánicos, diques e intrusivos del distrito minero.

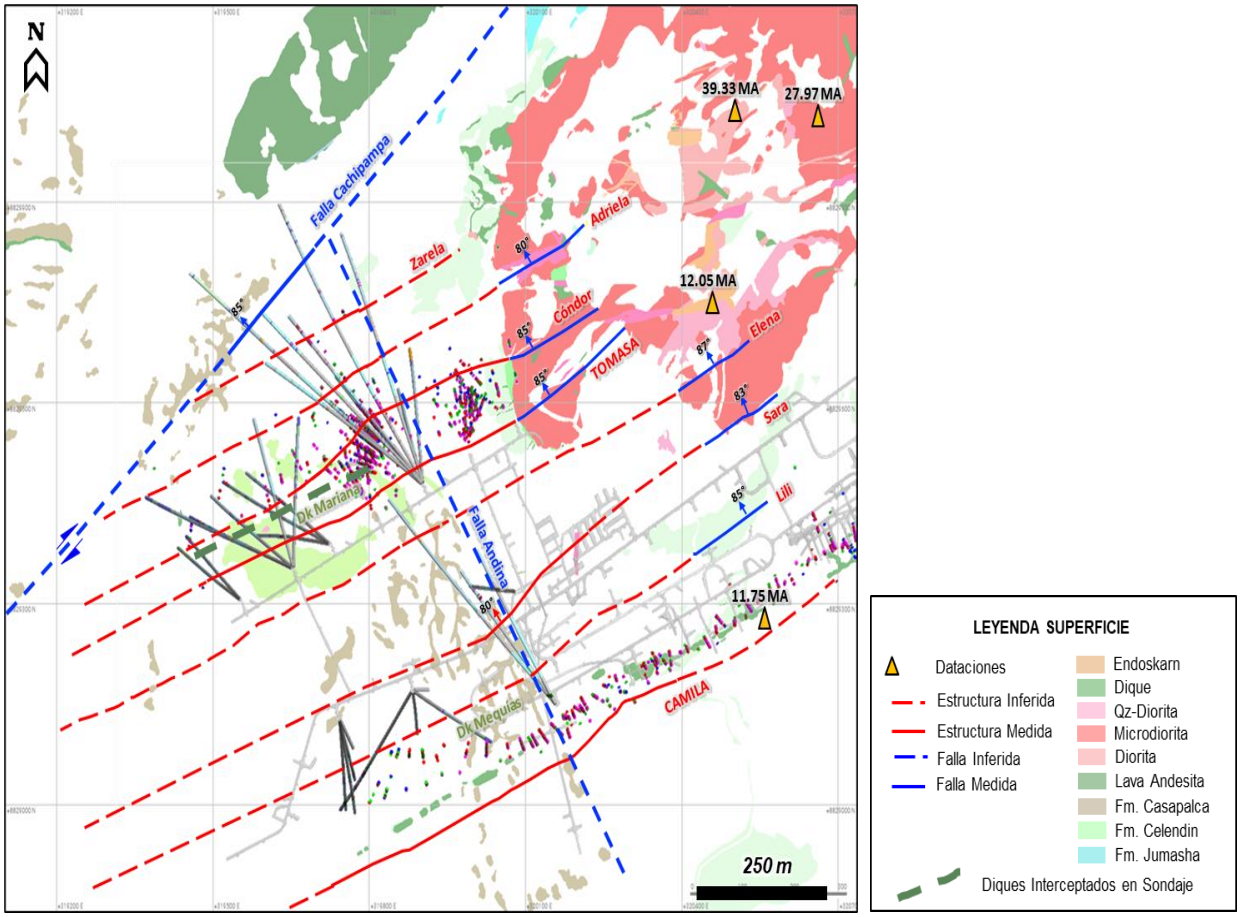
El análisis de datación en este caso fue geocronología U-Pb (Uranio-Plomo), realizado mediante el uso de un instrumento SHRIMP-II (Sensitive High-Resolution Ion Microprobe) y complementado con el software SQUID y ISOPLOT/EX. Este método de datación U-Pb se emplea comúnmente en granos de circón debido a su capacidad para retener plomo, lo que permite datar la cristalización y edad de formación de la roca en la que se encuentran los

cristales de circón. Es un método preciso y ampliamente utilizado en estudios de geocronología y tectónica.

Mediante este análisis se logró determinar las edades de los cuerpos microdioríticos (27.97 Ma), dioríticos (15.97Ma) y diques cuarzodioríticos (12.05Ma) del Cerro Yumpag, así como la edad del dique Mequías con 11.75Ma. Este último es el que define la edad relativa de la mineralización en Yumpag por su relación de corte, por ello se concluye que la mineralización en el sector de Tomasa y Camila deben estar alrededor de 11.50 Ma.

Figura 40

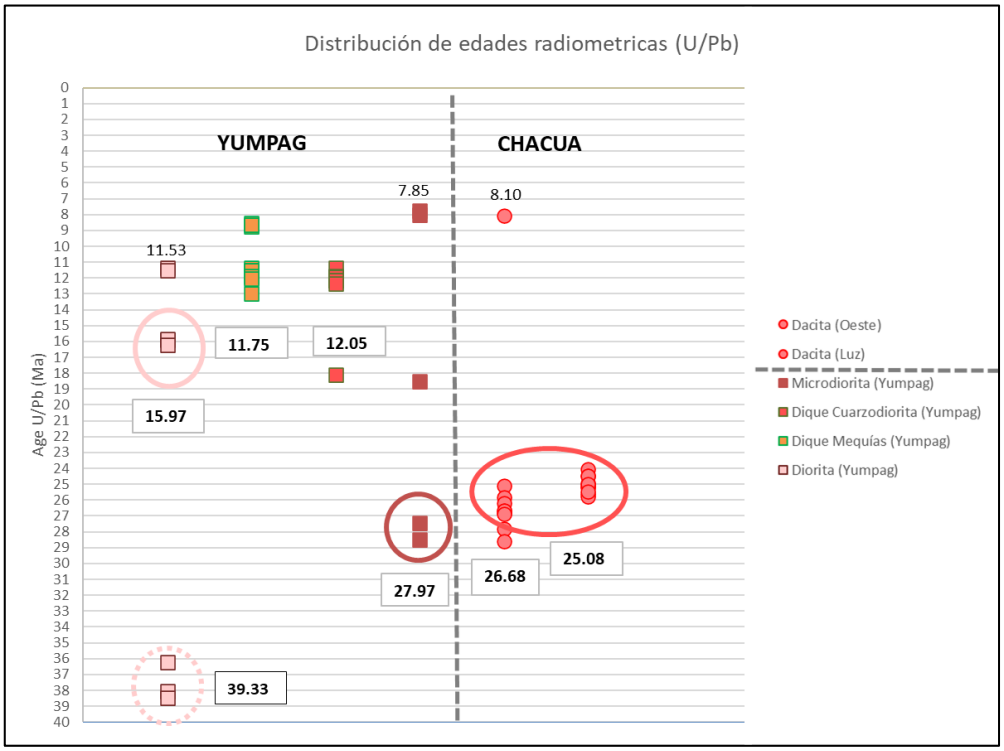
Mapa de distribución de Edades Radiométricas (U/Pb) en Yumpag y Uchucchacua.



Nota. Obtenido de Informe Geochronex EA para Compañía de Minas Buenaventura

Figura 41

Tabla de Edades Radiométricas (U/Pb) en Yumpag.



Nota. Obtenido de Informe Geochronex EA para Compañía de Minas Buenaventura

5.3 Paragénesis y Mineralogía del Yacimiento

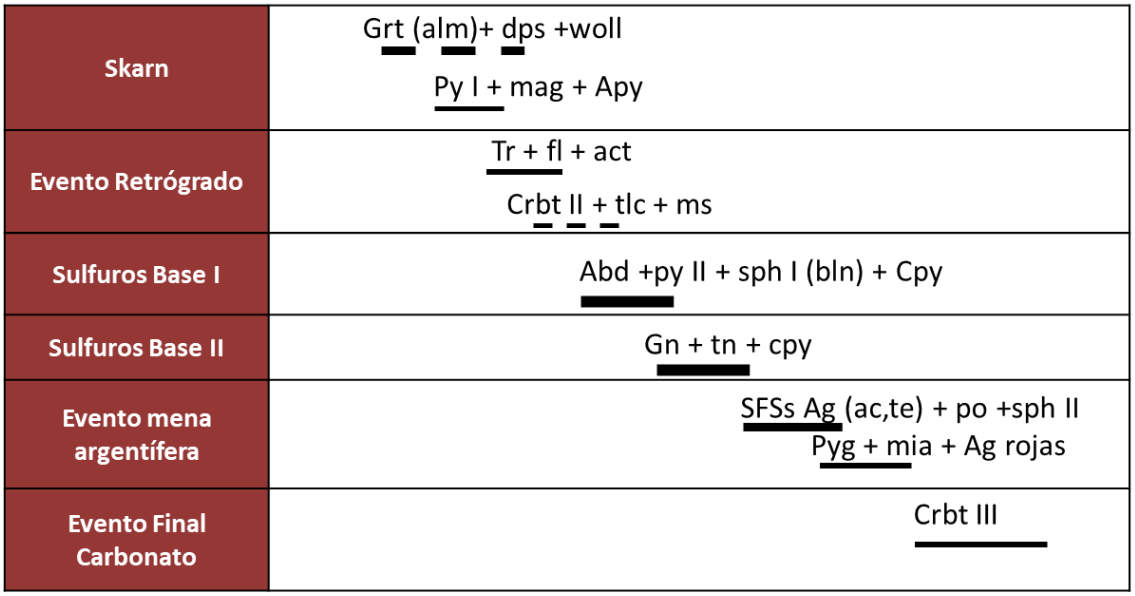
5.3.1 Paragénesis del Yacimiento

El depósito de Yumpag tiene una mineralogía muy variada que sugiere el desarrollo de muchos eventos hidrotermales y asociados a un skarn distal de Mn. El estudio de paragénesis de Chávez (2023) sugiere que el proceso formativo de este yacimiento pasa de una etapa de skarn enriquecida en manganeso (evidenciada por la rodonita y alabandita), a una fase epitermal con mineralización de Mn y plata en forma de sulfuros y sulfosales, y culmina en una fase de reemplazo en carbonatos con rodocrosita predominante. Esta paragénesis señala la importancia del manganeso en todas las fases, y la evolución de condiciones hidrotermales desde ambientes de alta a baja temperatura, evidenciando un sistema mineralizante multifásico y enriquecido en Mn (Chávez, 2023). Esta serie paragenética se da mediante el análisis microscópico de secciones delgadas en la Estructura Tomasa, el objeto de estudio principal

para la realización de la presente tesis. Es por lo que se puede concluir en la siguiente secuencia basado en estas observaciones.

Figura 42

Paragénesis de la Estructura Tomasa.



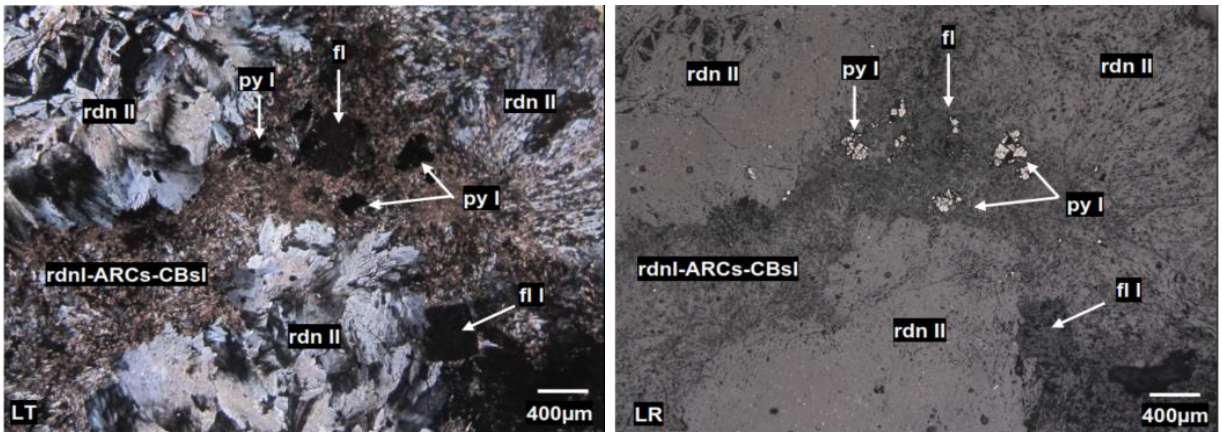
Nota. La figura muestra la Paragénesis de la Estructura Tomasa, basado en análisis de secciones delgadas y microscopía con Difracción Rx del sondaje YUM21-224. Basado de Informe Interno William Chávez (2023). La terminología incluye: Grt-granates, alm-almandino, dps-diópsida, woll-wollastonita, py-pirita, mag-magnetita, apy-arsenopirita, tr-tremolita, fl-fluorita, act-acinolita, crbt-carbonato, tlc-talco, ms-muscovita, abd-alabandita, sph-esfalerita, bln-blenda, cpy-calcopirita, gn-galena, tn-tenorita, SFSs Ag- sulfosales de plata, ac-acantita, te-tenantita, po-pirrotita, pyg-pirargirita, mia-miargirita, Ag rojas- platas rojas

- **Etapa de Skarn (Alta Temperatura) :** La fase inicial de formación de skarn se manifiesta por la presencia de granate (posiblemente almandino), clinopiroxeno (probablemente diópsido) y rodonita, un silicato de manganeso. La rodonita señala un entorno de alta temperatura favorable para la precipitación de minerales de Mn, que caracteriza esta etapa temprana. Posteriormente, el clinopiroxeno es reemplazado en parte por tremolita, que también muestra alteración hacia carbonatos y talco, lo cual sugiere una modificación progresiva del sistema. En esta fase temprana también se encuentran pirita (Pirita I) y arsenopirita, asociadas a los silicatos de alta temperatura.

Además, la presencia de alabandita (sulfuro de Mn) complementa el perfil de manganeso en la paragénesis inicial, indicando que el sistema mantenía una disponibilidad significativa de Mn durante esta etapa.

Fotografía 2

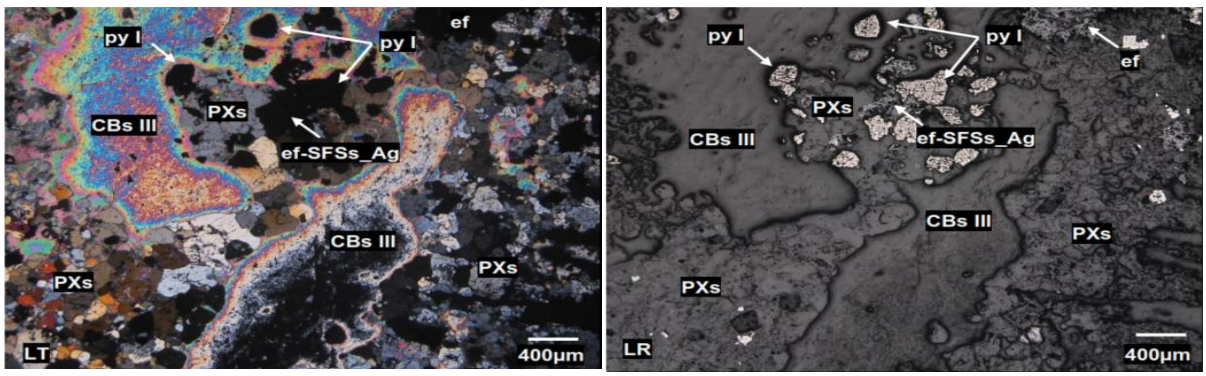
Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa.



Nota. La figura muestra agregados de posible rodonita I alterados por arcillas y carbonatos I (rdnI-ARCs- BsI) con cristales de fluorita l (fl l) en sus intersticios. Posteriormente, han sido invadidos por agregados de posible rodonita II (rdn II). También, pirita I (py I) que ha ingresado por los intersticios de la posible rodonita I y en bordes de cristales de fluorita l. Obtenido de Informe BIZALab (2022).

Fotografía 3

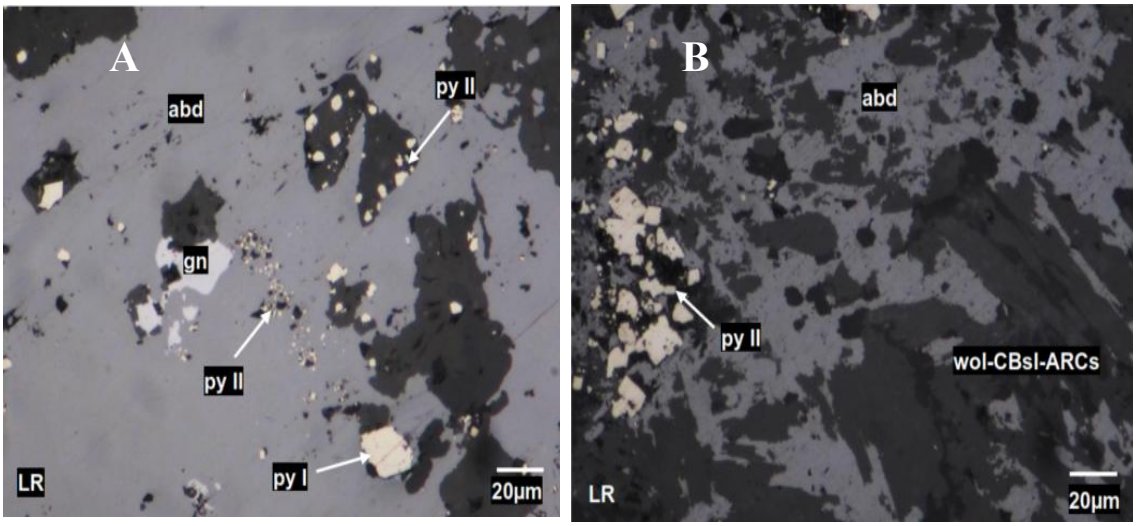
Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa.



Nota. La figura muestra Cristales de pirita l (py l) y esfalerita (ef) que han ingresado por los intersticios de los agregados de cristales de piroxenos (PXs). La esfalerita ha sido reemplazada débilmente por sulfosales de plata (SFSs_Ag). Posteriormente, han sido invadidos por agregados de carbonatos lll (CBs lll). Obtenido de Informe BIZALab (2022).

Fotografía 4

Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa.

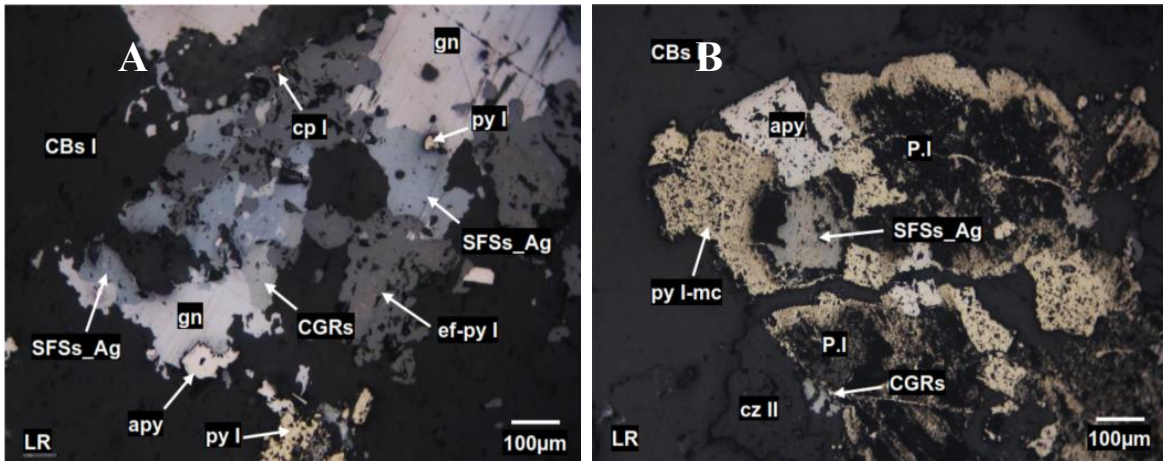


Nota. La figura A muestra cristal de alabandita (abd) con relictos de pirita I (py I). Ha sido reemplazada por galena y pequeños cristales de pirita II (py II) desde sus centros y oquedades. La figura B muestra Agregados de alabandita (abd) y de pequeños cristales de pirita II (py II) que han ingresado por los intersticios de los agregados de wollastonita, alterada por carbonatos I y arcillas (wol-CBsI-ARCs).Obtenido de Informe BIZALab (2022)

- **Etapa Epitermal (Temperatura Moderada a Baja) :** Con la disminución de temperatura, el sistema evoluciona hacia una mineralización epitermal donde se observan múltiples generaciones de cuarzo, incluyendo cuarzo plumoso y cuarzo "limpio", lo cual sugiere diversos pulsos de actividad hidrotermal. En esta etapa, se introduce rodocrosita (carbonato de Mn) como parte de la paragénesis. La rodocrosita aparece junto con minerales como la pirita (Pirita II), fluorita y esfalerita, además de sulfosales de plata (probablemente proustita) y manganeso (alabandita). La combinación de estos minerales indica una fase caracterizada por condiciones que permiten la estabilización de Mn en forma de carbonato y sulfuro. La galena y la esfalerita con inclusiones de sulfosales como acantita también marcan la presencia de minerales de plata en esta etapa epitermal, y refuerzan la importancia del manganeso en el sistema.

Fotografía 5

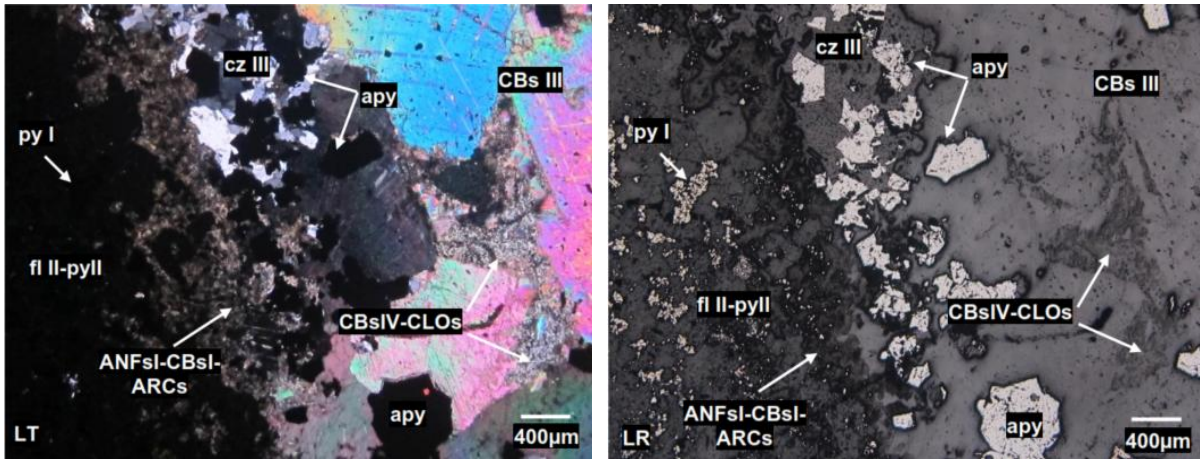
Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa.



Nota. La figura A muestra Cristales de esfalerita (ef) reemplazados desde sus bordes por galena (gn), cobres grises (CGRs) y sulfosales de plata (SFSs_Ag); con relictos de pirita l (py l) y arsenopirita (apy). Además, la esfalerita presenta finas diseminaciones de calcopirita l (cp l). Han ingresado por los intersticios de los agregados de carbonatos l (CBs l). La figura B muestra Cristales de pirita l (py l) que han sido reemplazados por arsenopirita (apy), producto intermedio (P.I), cobres grises (CGRs), sulfosales de plata (SFSs_Ag) y marcasita (mc); asociados con cristales de cuarzo ll (cz ll). Presentes en intersticios, oquedades y fracturas de los carbonatos l (CBs l). Obtenido de Informe BIZALab (2022)

Fotografía 6

Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa.



Nota. La figura muestra Bandas de fluorita II con relictos de pirita I (py I) y pirita II (py II) en intersticios; en sus bordes se aprecian relictos de posibles anfíboles I alterados por carbonatos I y arcillas (ANFsI-CBsIARCs). También, han sido invadidos por agregados de carbonatos III (CBs III) y cuarzo III (cz III), con arsenopirita (apy) en sus intersticios. Así mismo, agregados de carbonatos IV y cloritas (CBsIV-CLOs) en fracturas de los carbonatos III. Obtenido de Informe BIZALab (2022)

- **Etapa de Reemplazo en Carbonatos (Baja Temperatura, Fase Final):** La última fase de mineralización se define por la precipitación de carbonatos gruesos y limpios, donde la rodocrosita es prominente, actuando como el principal mineral de carbonato de manganeso. Este carbonato final se presenta sin sulfuros, lo cual es típico de un ambiente con alta actividad de CO3 en condiciones de baja temperatura y mayor oxidación, lo que favorece la precipitación de carbonatos de manganeso en lugar de sulfuros. En esta fase también se observa la aparición de esfalerita con inclusiones de pirrotina y galena, lo cual sugiere que el manganeso continuó siendo una parte importante en la química del sistema hasta las últimas etapas de mineralización. La esfalerita y otros sulfuros, seguidos de este carbonato de Mn en la etapa final, resaltan la sobresaturación de Mn en la solución hidrotermal y completan el ciclo mineralizante del yacimiento.

  - **Etapa 1 (T°: 300–400°C) – Skarn y Sulfuros Tempranos**

    Fluidos magmáticos hidrotermales (ricos en Fe, Cu, S) interactúan con calizas:

    - **Formación de skarns:**

      $$CaCO_3 + SiO_2 + Fe^{2+} \rightarrow Andradita\ (Ca_3Fe_2Si_3O_{12}) + CO_2$$

    - **Precipitación de pirrotita y calcopirita:**

      $$Fe^{2+} + Cu^{2+} + 2H_2S \rightarrow Fe_{1-x}S\ (pirrotita) + CuFeS_2(calcopirita) + 4H^+$$

  - **Etapa Mesotermal (T°: 200–300°C) – Sulfuros Principales (Zn-Pb-Ag)**

    Reemplazo masivo de calizas por sulfuros:

    - **Esfalerita y galena:**

      $$Zn^{2+} + Pb^{2+} + 2H_2S + 2CaCO_3 \rightarrow ZnS + PbS + \ 2Ca^{2+} + 2H_2O + 2CO_2$$

    - **Arsenopirita (en zonas con aporte de As):**

      $$Fe^{2+} + As^{3+} + H_2S \rightarrow FeAsS\ (arsenopirita) + 2H^+$$

  - **Etapa Epitermal (T°: 100–200°C) – Sulfosales y Carbonatos**

Mineralización de Ag y Mn:

- **Sulfosales de plata (ej.: pirargirita):**

$$3Ag^{+} + Sb^{3+} + 3H_2S \rightarrow Ag_3SbS_3 + 6H^{+}$$

- **Precipitación de rodocrosita y alabandita:**

$$Mn^{2+} + H_2S \rightarrow MnS\ (alabandita) + 2H^{+}$$

$$Mn^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow MnCO_3(rodocrosita)$$

- **Etapa Telotermal (T°: <100°C) – Silicificación y Geodas**

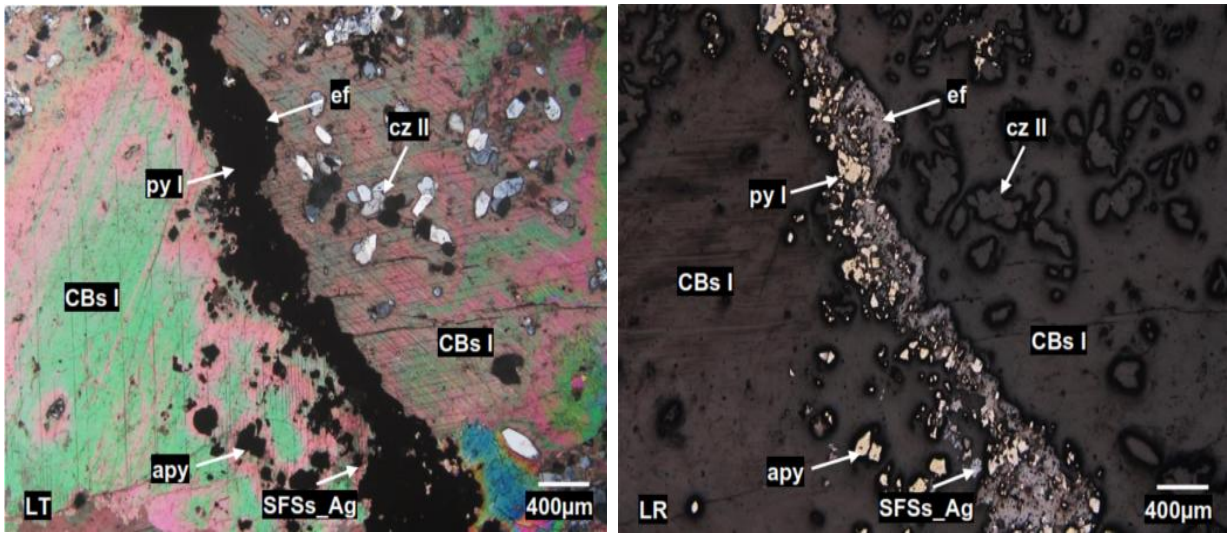
Disolución de calizas y formación de geodas de sílice:

$$CaCO_3 + 2H^{+} \rightarrow Ca^{2+} + H_2O + CO_2\ (Disolución)$$

$$H_4SiO_4 \rightarrow SiO_2(cuarzo/ópalo) + 2H_2O\ (Precipitación)$$

Fotografía 7

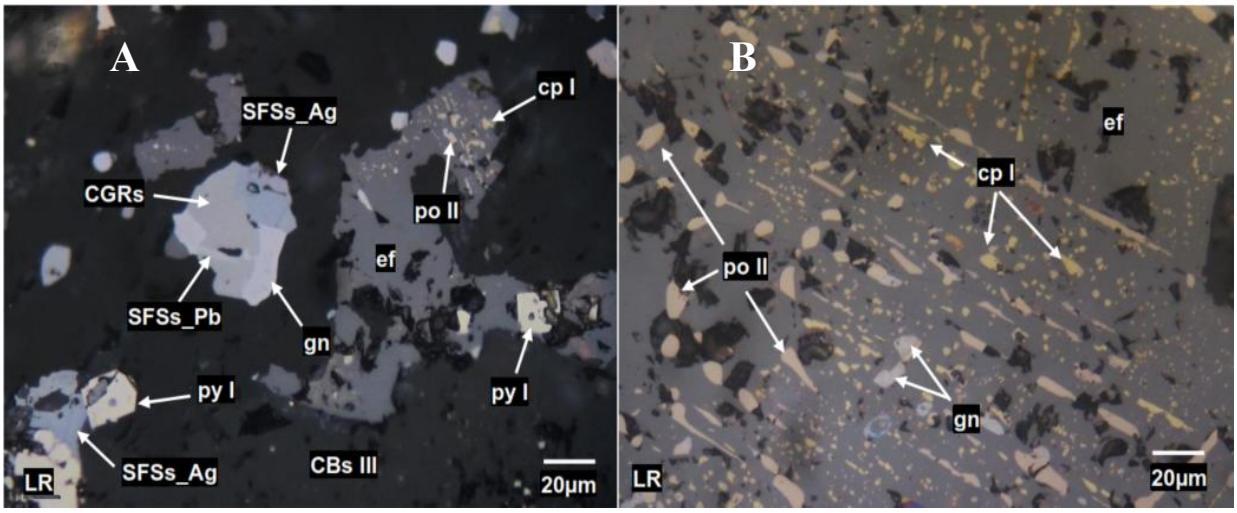
Fotomicrografía SD574533 YUM21-224-Tomasa.



Nota. La figura muestra Cristales decarbonatos l (CBs l) que presentan en sus oquedades y fracturas a cristales de cuarzo ll (cz ll), pirita l (py l), esfalerita (ef), arsenopirita (apy) y sulfosales de plata (SFSs_Ag). Obtenido de Informe BIZALab (2022)

Fotografía 8

Fotomicrografía SD574544-A/ SD574546-B YUM21-224-Tomasa



Nota. La figura muestra Cristales de pirita I (py I) reemplazados por esfalerita (ef) y sulfosales de plata (SFSs_Ag). La esfalerita presenta diseminaciones de pirrotita II (po II) y calcopirita I (cp I). Además, cristales de galena (gn) reemplazados por cobres grises (CGRs) y sulfosales de plata. Posteriormente, han sido englobadas por carbonatos III (CBs III). B. Cristales de esfalerita (ef) con finas diseminaciones de pirrotita ll (po ll) y calcopirita l (cp l), en ocasiones siguiendo sus direcciones de clivaje. Además, han sido reemplazadas ligeramente desde sus centros por pequeños cristales de galena (gn).. Obtenido de Informe BIZALab (2022)

5.3.2 Mineralogía del Yacimiento

El yacimiento Yumpag ha sido interpretado como un depósito CRD (Carbonate Replacement Deposit), caracterizado por la alteración hidrotermal de rocas carbonatadas, donde los minerales originales han sido reemplazados por una variedad de minerales metálicos, incluyendo sulfosales de plata (Ag), plomo (Pb) y zinc (Zn), con una participación permanente del manganeso (Mn) en todas las etapas de su paragénesis.

En este yacimiento, fluidos hidrotermales ricos en metales han reaccionado con las calizas de la Formación Jumasha, y se han desarrollado en ciertos horizontes favorables antes descritos: Horizonte Beta y Gasterópodos del Jumasha Superior, disolviendo la matriz original y precipitando minerales metálicos, dando lugar a cuerpos mineralizados significativos, dentro de ellos se tienen identificadas las Estructuras Tomasa y Camila. Mientras que, en otros niveles

estratigráficos no favorables como margas, calizas margosas o bituminosas se estrangulan y solo se expresan como venilleos intensos de calcita.

La Estructura Tomasa se compone de cuerpos voluminosos en los dos niveles favorables, estos han sido denominados cuerpos “Bolones”. Se extiende alrededor de 780 metros de longitud, y sus niveles mineralizados tienen 250 metros en profundidad con un encampane aproximado de 200 metros en las extensiones de los cuerpos Bolones. Sin embargo, tiene un comportamiento errático entre cuerpos y extensionalmente, donde al parecer se despliega como mantos mineralizados que responden a un patrón litológico, objeto del estudio presente. El mayor desarrollo de esta estructura está en el Horizonte Gasterópodos.

Figura 43

Mapa ubicación de Estructura Tomasa vista en planta con ocurrencia mineral representada.

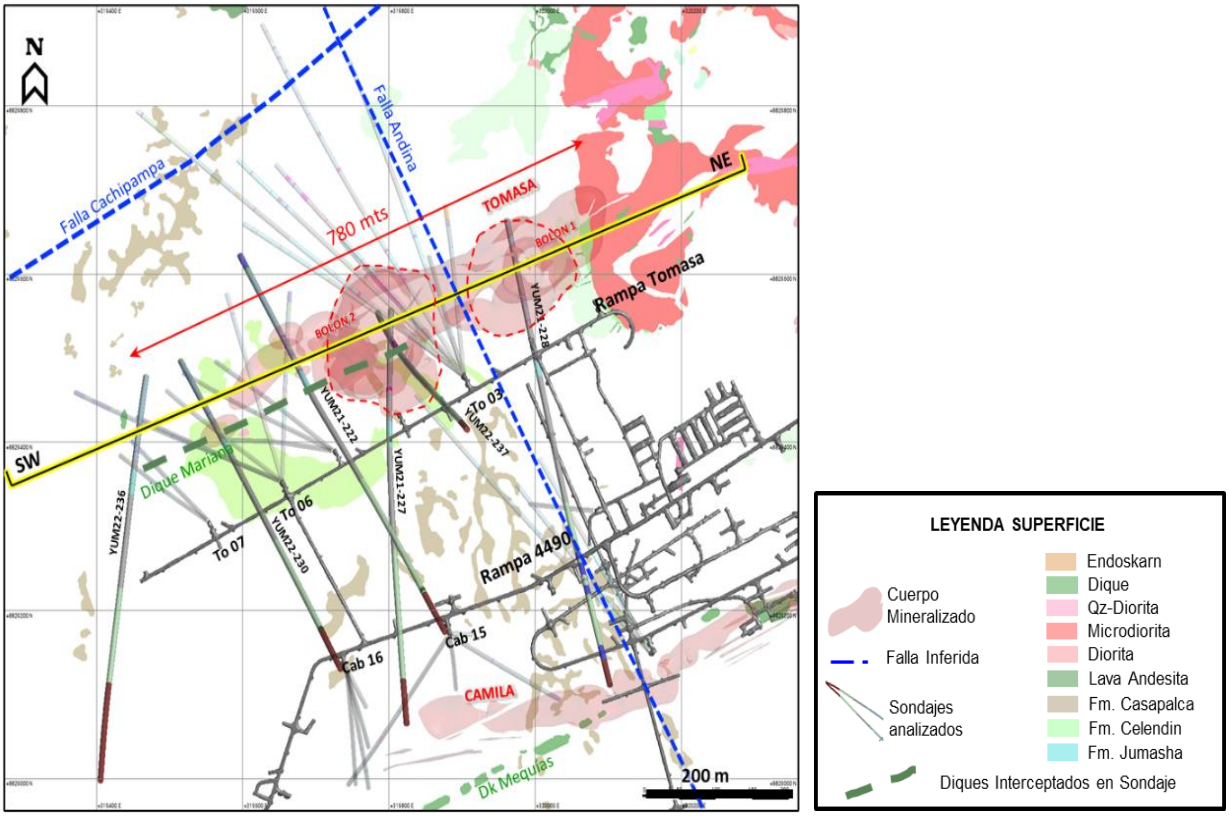
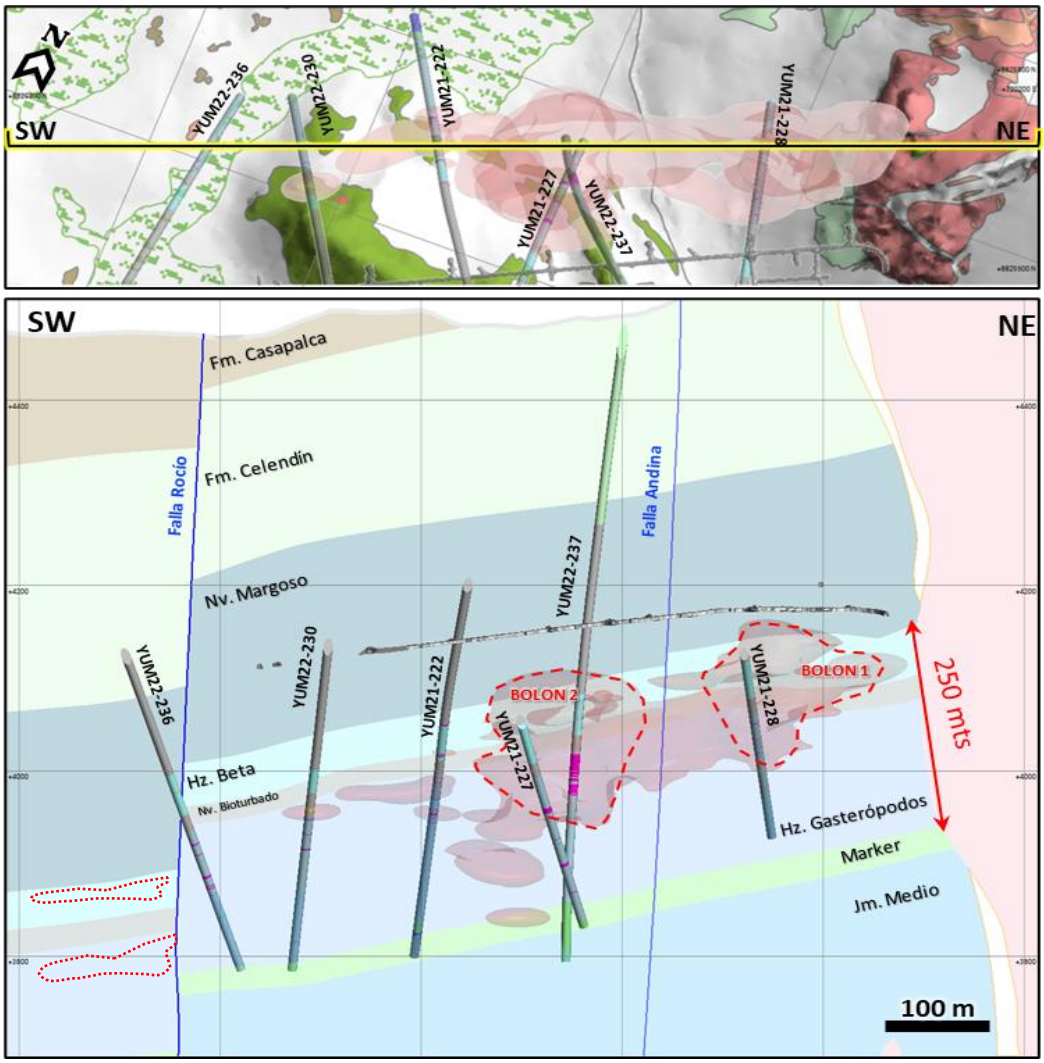


Figura 44

Sección longitudinal de Estructura Tomasa con ocurrencia mineral representada con los Cuerpos Bolones y ubicación de sondajes analizados.

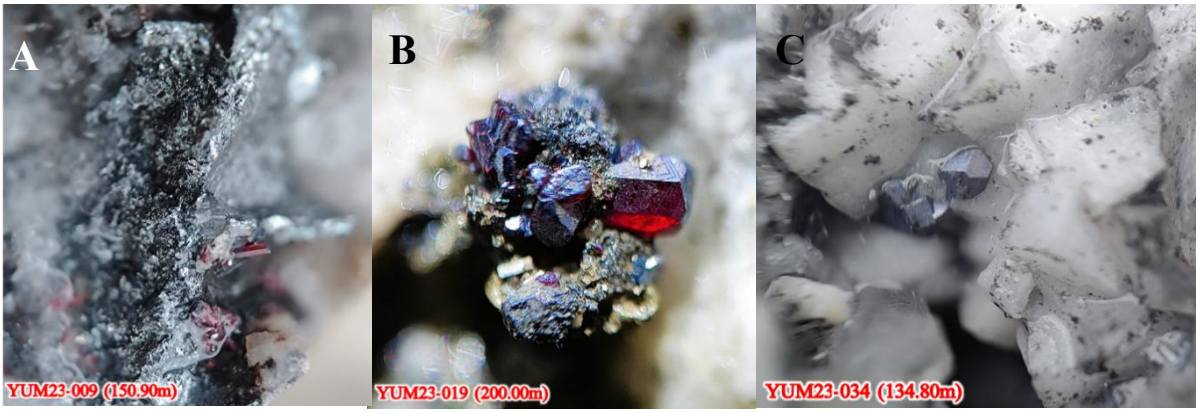


- **Mena de Tomasa:** Como mena presenta una variedad significativa de sulfosales de Ag, distribuidas en diferentes minerales con alta concentración de Ag y otros elementos acompañantes. Los minerales de plata incluyen principalmente las denominadas “platas rojas”: pirargirita (60% Ag) y proustita (65.5% Ag) que se encuentran en forma de parches y en asociación con otros minerales de Ag y Pb en cavidades de carbonatos y sílice. Además, se tiene argentotetraedrita en sus variantes Fe, Mn-Zn y Mn-Zn-Pb, cada una con una cantidad considerable de plata. Otros minerales de plata destacados en Tomasa incluyen estefanita con un

66.9% de Ag, acantita (85.4% Ag) y canfieldita (70% Ag), lo cual resalta la riqueza en minerales de plata pura y en sulfuros complejos. En cuanto al Zn y Pb se tiene la esfalerita en sus dos variedades, Fe-marmatita y blenda, galena, pirrotita y otros sulfosales como la boulangerita (Pb5Sb4S11) en forma de cristales aciculares, y jamesonita (Pb4FeSb6S14) en cavidades asociadas con sílice.

Fotografía 9

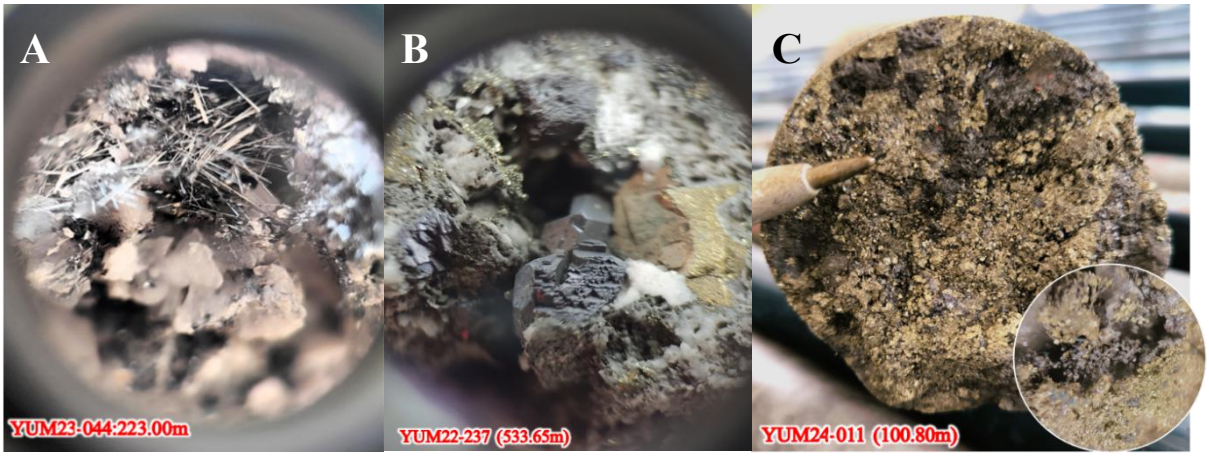
Cristales en Mena de Tomasa



Nota. La figura A muestra Cristales prismáticos de proustita en masa irregular de otros sulfosales de Ag y Pb. La figura B muestra Agregado maclado de pirargirita en cavidad, asociado a py. La figura C muestra Cristales de sulfuros de Ag (posible acantita) incrustados en cristales de calcita.

Fotografía 10

Cristales en Mena de Tomasa



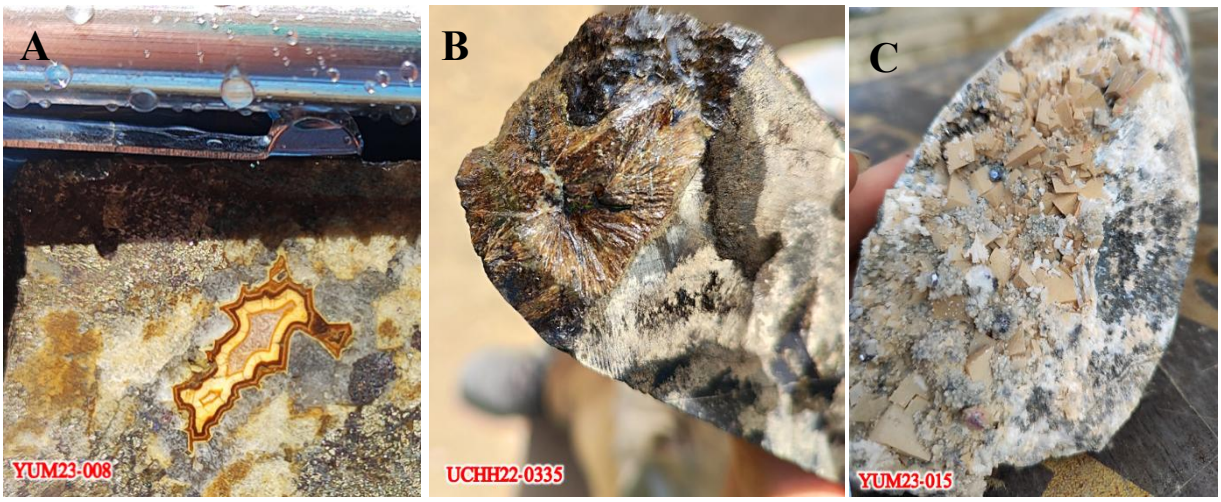
Nota. La figura A muestra Cristales de jamesonita en cavidad asociado a cristales de sílice en textura *moss*. La figura muestra B Cristales cubo-octaédricos de galena, clivaje característico

en matriz de calcita, otros cristales de py La figura C muestra Agregado de pirita cúbica intercrecidos con cristales de esfalerita.

- **Ganga de Tomasa:** Su principal ganga son los minerales de Mn: rodonita, rodocrosita y alabandita, siendo el mismo orden de abundancia, se presentan en parches, texturas coloformes y en textura zebra; además de otros carbonatos como calcita, manganocalcita, sílice, fluorita y en algunas ocasiones silicatos de Mn.

Fotografía 11

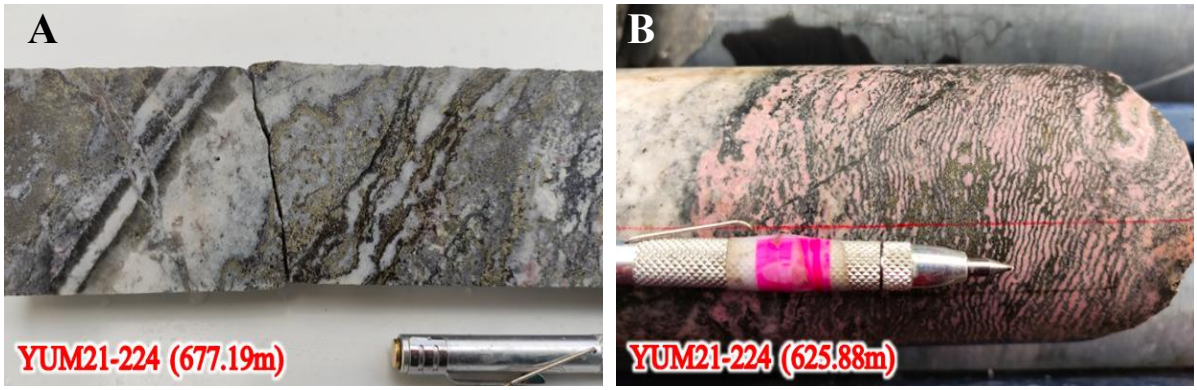
Cristales en Ganga de Tomasa



Nota. La figura A muestra Agata centimétrica de sílice y calcedonia en textura escarapelada concéntrica La figura B muestra Johansennita en habito radial concéntrico. y la figura C muestra Cristales cúbicos de Mn calcita con cristales de sulfosales.

Fotografía 12

Cristales en Ganga de Tomasa



Nota. La figura A muestra textura bandeada en el sentido de estratificación, bandas de cal, sil, y sulfuros (py, esf) y la figura B muestra Textura zebra en rodonita y py.

En el caso de Camila, es una Estructura paralela a Tomasa, con una distancia de 500 metros; tiene una extensión longitudinal reconocida de 1.9 km esta se encuentra mejor desarrollada en el Nivel Beta (50 metros de espesor). A diferencia de Tomasa, su mineralización está mayormente influenciada por alabandita (MnS), sulfuros masivos de pirita gruesa, parches de rodocrosita y calcita, el mayor contenido de alabandita sugiere que esta estructura se encuentra más alejada de la fuente. La mena al igual que en Tomasa se encuentra en Sulfosales de Ag, denominadas "platas rojas": pirargirita y proustita; esfalerita (ZnS) y galena (PbS), también incluyen acantita (81.3% Ag), freibergita (36.4% Ag) y diaforita (25.1% Ag). En menor proporción, se encuentran minerales como miargirita (37.87% Ag) y pirquitasita (37.2% Ag), con la presencia adicional de uchucchacuita, que contiene un 6.9% de Ag. Estos minerales reflejan una diversidad composicional importante en el yacimiento, especialmente en cuanto a la plata y los elementos de acompañamiento como Cu, Sb, Pb, Fe y Mn, lo que indica una paragénesis compleja y variada en el contexto mineralógico del yacimiento.

Fotografía 13

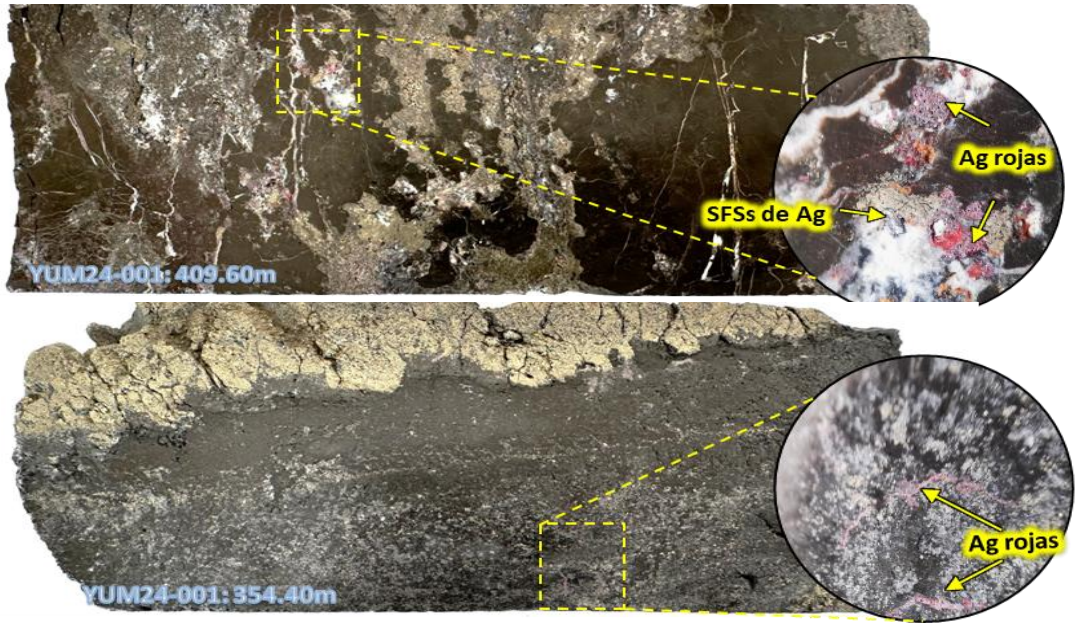
Cristales en Camila



Nota. La figura A muestra Agregado de cristales prismáticos de proustita en cavidad La figura B muestra Alabandita cristalizada en fractura, tonalidad parda cuando está fresca. Alrededor rdc y rdn, py diss y la figura C muestra Cristales idiomórficos escalenoédricos de pirargirita sobre cristales cúbicos de Mncal.

Fotografía 14

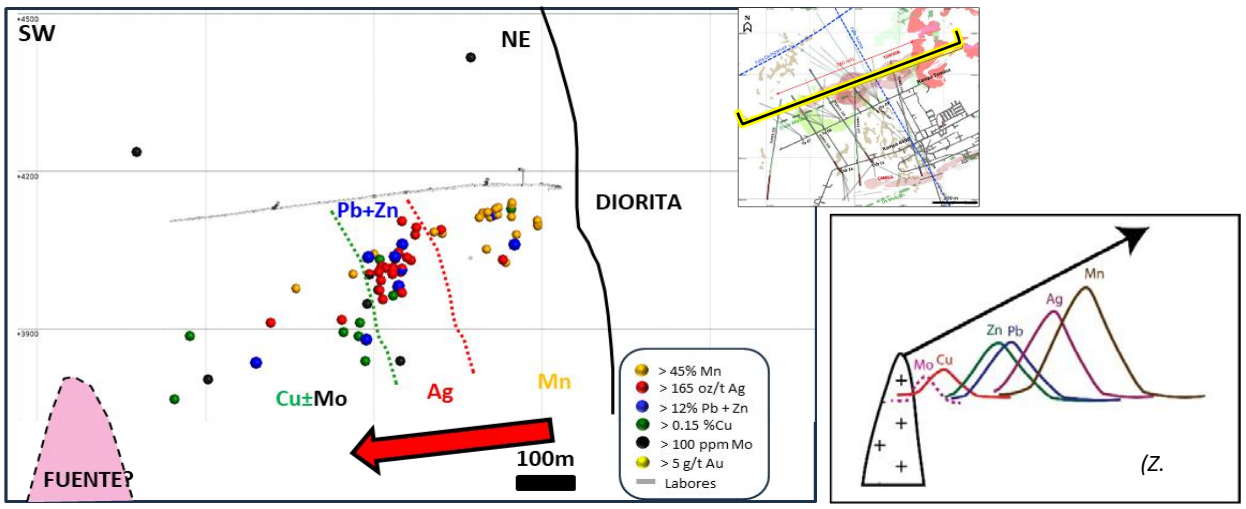
Mineralización de alabandita masiva con parches y bandas de py, esfalerita en parches y diseminaciones de Ag rojas.



En cuanto a la asociación con Intrusiones ígneas, es importante resaltar que la única asociación de temporalidad que se ha podido definir es la presencia de diques. El dique andesítico "Mequías" está asociado a la mineralización en la Estructura Camila, mientras que el dique dacítico "Mariana" está asociado a la mineralización en la Estructura Tomasa. No obstante, ninguno de estos cuerpos subvolcánicos presentan mineralización, es decir son estériles. Las ocurrencias de microdiorita y dioríticas del Cerro Yumpag tampoco presentan relación directa con las estructuras, ya que se encuentran sin evidencia real de mineralización. El origen de la fuente hidrotermal asociada a la mineralización de Yumpag sigue sin determinarse con claridad. Entre las hipótesis planteadas, se sugiere que podría estar relacionada con los intrusivos del Proyecto de Chonta, ubicado a unos 4 km al noroeste de Yumpag. Otra posibilidad es que la fuente permanezca oculta y no haya sido identificada durante las exploraciones realizadas en la zona.

Figura 45

Posible zonación para Estructura Tomasa

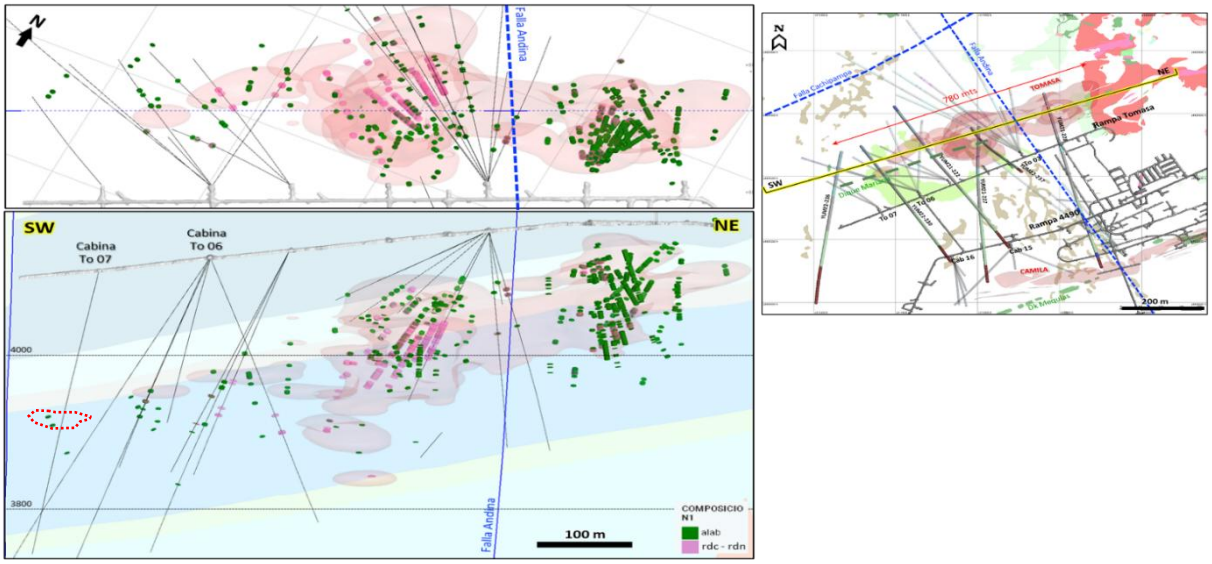


Nota. Obtenido en base a % de elementos Mn, Pb, Zn de Diagrama de zonación de Skarns and Related deposits por Zhaoshan (2023).

Concordante a las diversas hipótesis, lo único que ha sido posible es intentar realizar una zonación mineralógica y geoquímica con los minerales de Mn y metales base, indicando un sistema mineralizante estructurado.

Figura 46

Ocurrencia del Mn en la estructura Tomasa



Nota. La figura muestra la ocurrencia del Mn en la estructura Tomasa discriminando alabandita (verde) vs rodonita-rodocrocita (rosado). Obtenido de Galvez. Compañía de Minas Buenaventura

CAPÍTULO VI – ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

6.1 Diferenciación y Correlación Espacial de Facies

Inicialmente se tomaron la data de 19 sondajes en total correspondientes a la Estructura Tomasa, perforados entre los años 2020-2022 desde superficie, durante la exploración Brownfield para el Yacimiento Yumpag.

Se llevó a cabo un análisis de facies basado en el registro geológico, el cual fue procesado mediante el software GV Mapper. Este registro digital integra criterios como tipo de roca, textura, contenido fosilífero, presencia de materia orgánica, caracterización de la matriz (calcárea, margosa, bioclástica, micrítica, bituminosa, entre otras) y grado de "bioturbación" (removilización de materia orgánica). A partir de estos parámetros, se asignaron valores específicos a las facies de cada sondaje analizado, siguiendo un enfoque individual para garantizar la homogenización de los datos. Cabe destacar que la calidad y nivel de detalle de los registros dependen en gran medida del criterio de los geólogos responsables de su elaboración, lo que presentó un desafío adicional para uniformizar la información, dado que los registros fueron realizados en momentos distintos y bajo enfoques metodológicos variados.

El análisis previo permitió generar columnas estratigráficas para cada uno de los diecinueve sondajes, organizadas en niveles y horizontes atravesados, además de determinar los espesores reales en correlación con el modelo dinámico establecido para esta parte de la cuenca. De este conjunto, se seleccionaron seis sondajes caracterizados por tramos cortos o ausencia de mineralización, distribuidos a lo largo de 0.8 km en una sección longitudinal orientada de suroeste a noreste. Estos sondajes fueron elegidos por ser los más extensos y proporcionar la información más completa sobre el Jumasha Superior, incluyendo algunos niveles del Marker y el Jumasha Medio, es importante recalcar que cada sondaje fue direccionado desde superficie, por lo que su extensión no es necesariamente proporcional a su alcance en profundidad, ya que fueron planificados con ángulos diversos.

A continuación, se presenta la lista de sondajes analizados junto con sus respectivas profundidades perforadas, a partir de los cuales se elaboraron las columnas sedimentarias correspondientes (ver Anexos). Los sondajes seleccionados para la correlación espacial en toda la estructura se destacan en negrita, mientras que las muestras microscópicas fueron analizadas específicamente en los sondajes YUM21-225, YUM21-229 y YUM22-230.

1. YUM20-191 Extensión hasta el 50% Hz. Gasterópodos (660mts)
2. YUM20-192 Extensión hasta el 75% Hz. Gasterópodos (680mts)
3. YUM21-193 Extensión hasta el 50% Hz. Gasterópodos (665mts)
4. YUM21-194 Extensión hasta el 20% Hz. Gasterópodos (660mts)
5. YUM21-195 Extensión hasta el 50% Hz. Gasterópodos (690mts)
6. YUM21-197 Extensión hasta el 30% Hz. Gasterópodos (700mts)
7. YUM21-199 Extensión hasta el 30% Hz. Gasterópodos (740mts)
8. **YUM21-222 Extensión hasta el Nivel Marker (875mts)**
9. YUM21-223 Extensión hasta el 70% Hz. Gasterópodos (750mts)
10. YUM21-225 Extensión hasta el 80% Hz. Gasterópodos (775mts)
11. YUM21-226 Extensión hasta el 80% Hz. Gasterópodos (800mts)
12. **YUM21-228 Extensión hasta el 70% Hz. Gasterópodos (800mts)**
13. YUM22-229 Extensión hasta el 90% Hz. Gasterópodos (795mts)
14. **YUM22-230 Extensión hasta el Nivel Marker (820mts)**
15. **YUM22-236 Extensión hasta el Nivel Marker (845mts)**
16. **YUM21-227 Extensión hasta el Nivel Marker (820mts)**
17. **YUM22-237 Extensión hasta el Jumasha Medio (750mts)**
18. YUM22-283 Extensión hasta el 80% Hz. Gasterópodos (580mts)
19. YUM22-233 Extensión hasta el 80% Hz. Gasterópodos (785mts)

Figura 47

Mapa de distribución de sondajes analizados para diferenciación de facies y correlación

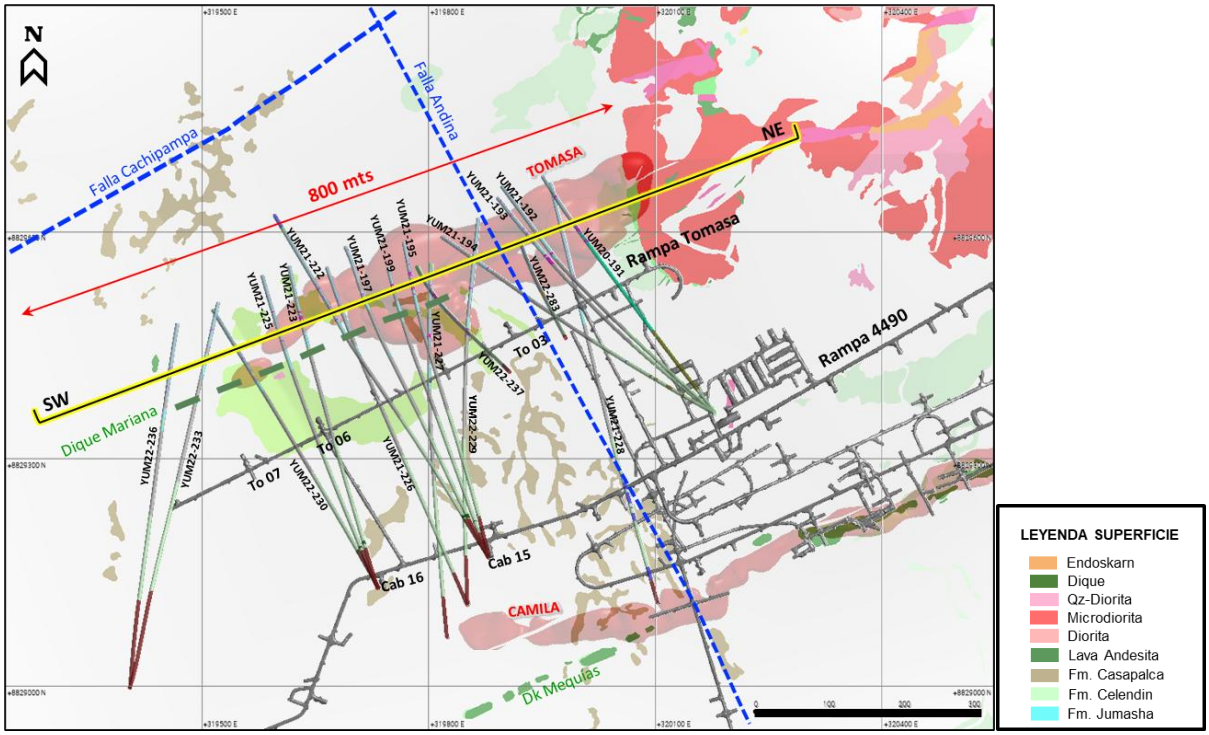
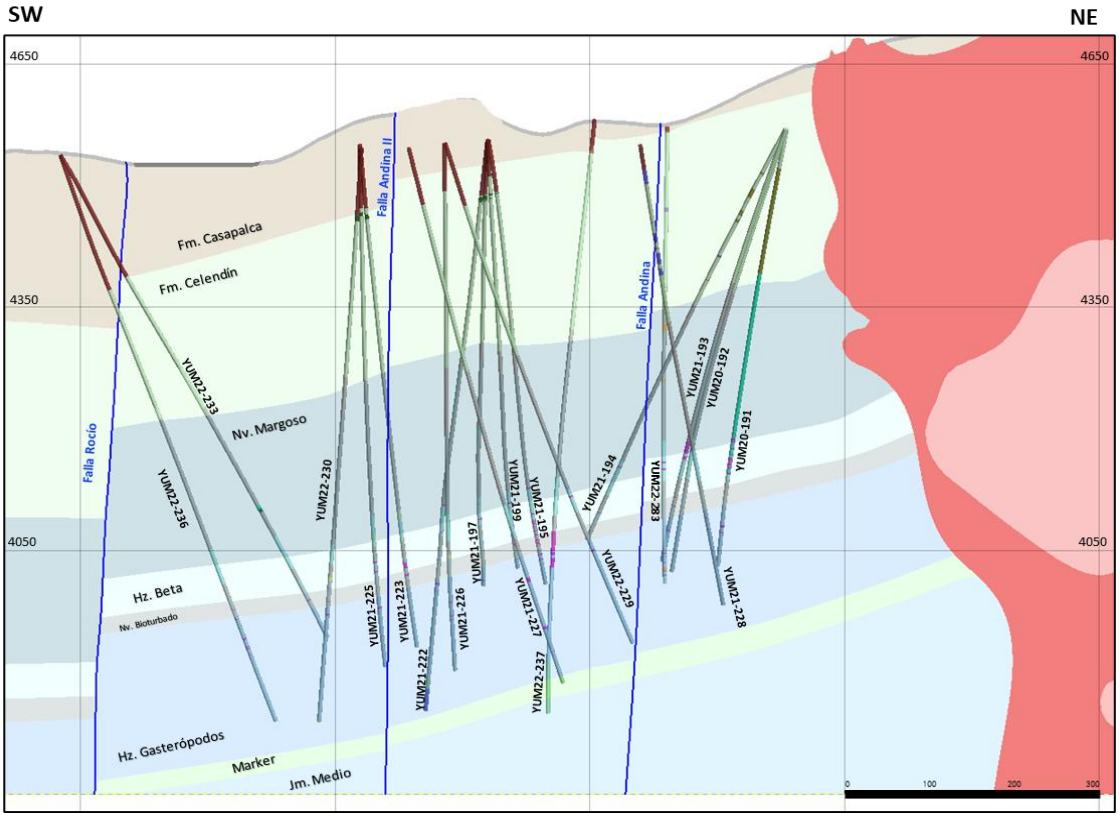


Figura 48

Sección para mostrar distribución de sondajes analizados para diferenciación de facies y correlación, en modelo sin cuerpo Mineralizado.



Se llevó a cabo el análisis de las seis columnas estratigráficas previamente seleccionadas mediante registro fotográfico, logueo geológico y observación directa. Este trabajo permitió identificar 12 niveles correlacionables dentro del Horizonte Beta, 33 niveles en el Horizonte Gasterópodos y 03 en el Marker. Aunque también fue posible describir algunos niveles del Jumasha Medio, la información resultó limitada debido a la falta de datos en los demás sondajes.

Estas observaciones permitieron distinguir zonas con facies favorables para la mineralización, así como niveles que actúan como trampas estratigráficas. Estas últimas se caracterizan por su contenido terrígeno (margosidad), grado de "bioturbación" (materia orgánica removilizada) y texturas específicas, como mudstone sin bioclastos.

Tras realizar la correlación de las columnas estratigráficas derivada del análisis anterior, se logró correlacionar el 95% de los niveles estratigráficos a lo largo de los 800 metros de extensión de Tomasa. Este proceso permitió la creación de una guía estratigráfica local para el Horizonte Beta y Gasterópodos en el Jumasha Superior, en la que se definieron facies denominadas mediante combinaciones de letras y números, así como la determinación de anchos promedio de las unidades estratigráficas, considerando variaciones locales en los espesores. Adicionalmente, se incorporó información detallada de la mineralización obtenida de los 13 pozos restantes. Se identificaron cuidadosamente los intervalos mineralizados en cada sondaje dentro de la correlación generada, lo que permitió determinar asociaciones entre facies, discriminando zonas con mayor mineralización y aquellas que actúan como trampas estratigráficas de relevancia.

El propósito principal de esta etapa fue establecer los espesores reales de los niveles de bonanza que serán usados para la predicción de cortes minerales en futuras campañas de perforación tanto para la presente Estructura como las otras.

Figura 49

Correlación de facies del Horizonte Gasterópodos, Marker y Jumasha Medio. Se correlacionan niveles favorables y niveles guía y trampa.

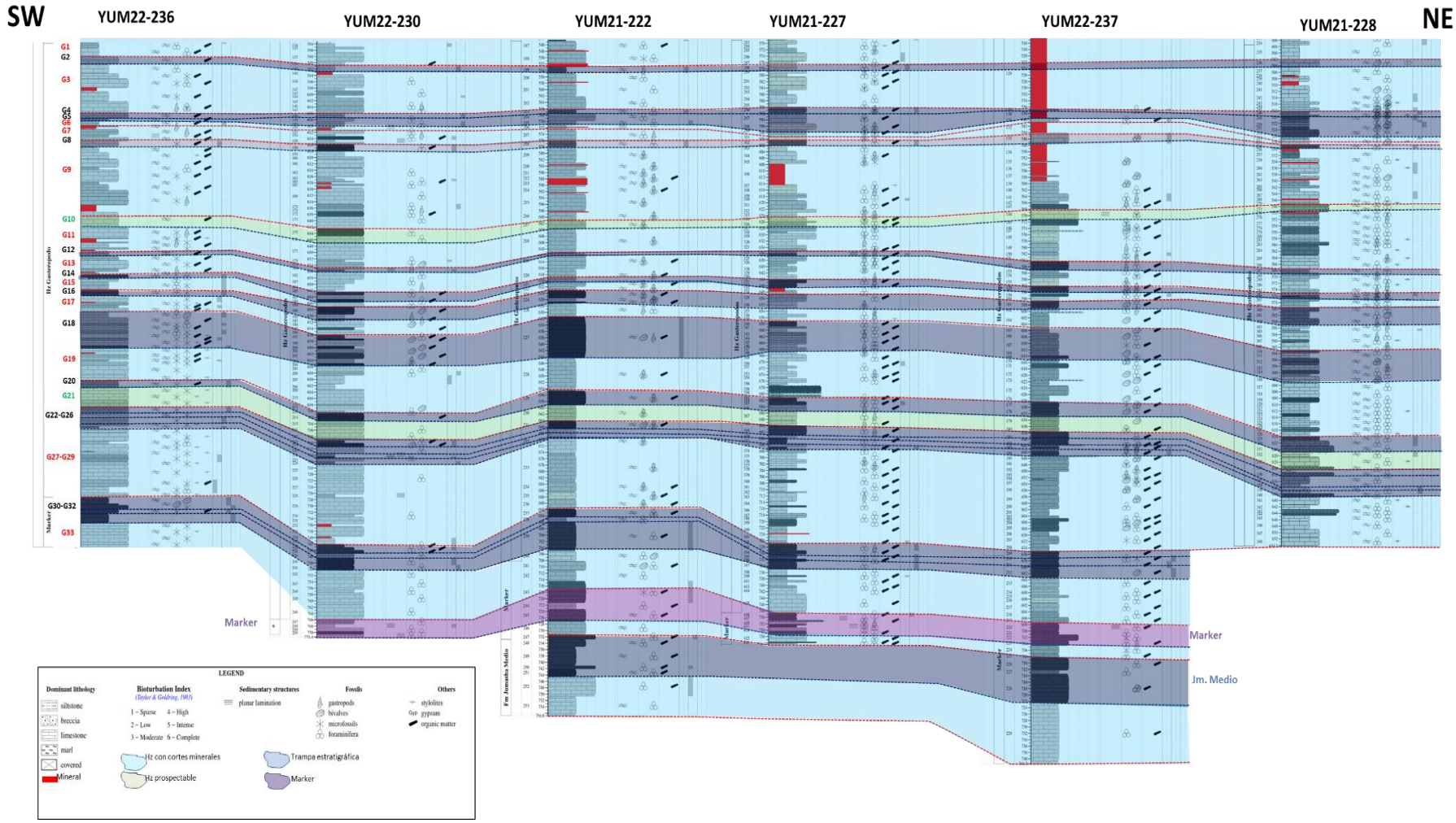


Tabla 5

Descripción de facies del Horizonte Gasterópodos, Marker y Jumasha Medio.

UNIDAD	GEOINTERPRETACIÓN	PROMEDIO PROF		DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA
HORIZONTE GASTERÓPODOS	Mineral	5.22	G1	Caliza limpia de color gris claro blanquecino, con textura de grainstone de grano fino a wackestone, y presencia de venillas con bitumen.
	Trampa	1.74	G2	Caliza de color gris claro a gris, con textura de mudstone a packstone, bioturbada y con flujos de bitumen.
	Mineral	10.89	G3	Caliza limpia de color gris claro, con textura granodecreciente de grainstone-grapestone a wackestone, que presenta foraminíferos cortos, oolitos y foraminíferos largos hacia el final.
	Trampa	1.27	G4	Caliza de color gris, con textura de wackestone y tramos de grainstone, bioturbada, con bitumen en flujos moderados, y presencia de foraminíferos ovoides y largos.
	Posible Mineral	3.28	G5	Caliza limpia de color gris claro, con textura de packstone a grainstone, con abundantes foraminíferos ovoides intercalados en niveles con *Peruvianella peruviana*.
	Marcador/laminaciones	0.97	G6	Nivel laminar de caliza con textura de mudstone gris a gris oscuro, con intercalaciones de calizas limpias y margosas, bitumen alineado según las laminaciones, y débil bioturbación.
	Mineral/laminaciones	2.63	G7	Caliza limpia de color gris claro, con textura de grainstone de grano medio a grueso, abundantes foraminíferos y gasterópodos, con flujos de bitumen en algunos tramos. La sección presenta una textura laminar asociada a estilolitos con abundante bitumen.
	Trampa	1.49	G8	Caliza margosa de color gris oscuro, con textura de wackestone a packstone, bituminosa debido a flujos, y con abundantes fósiles de foraminíferos ovoides. Bioturbación débil.
	Mineral	18.28	G9	Caliza de color gris claro blanquecino, con textura de grainstone de grano fino a medio, con abundantes foraminíferos ovoides, foraminíferos tipo Peruvianella peruviana de manera esporádica y pocos gasterópodos.
	Posible Mineral	2.47	G10	Caliza limpia de color gris claro blanquecino, con textura de grainstone de grano medio intercalado con niveles cortos de mudstone, y abundantes foraminíferos ovoides.
	Mineral	8.34	G11	Caliza limpia de color gris claro, con textura de packstone a grapestone, que presenta foraminíferos ovoides y oolitos, con niveles donde se observan gasterópodos.

	Trampa/marcador	**1.17**	**G12**	Caliza de color gris a gris oscuro, con textura de wackestone, bioturbada, y con presencia de foraminíferos y gasterópodos. La sección presenta venillas irregulares con bitumen de carácter laminar.
	Mineral	**6.43**	**G13**	Caliza de color gris claro a gris, con textura de packstone y wackestone. Contiene foraminíferos y tramos con moderada presencia de gasterópodos, y débiles venillas de bitumen.
	Trampa	**2.24**	**G14**	Caliza de color gris oscuro, bituminosa y bioturbada, con textura de packstone a grainstone, que muestra venillas moderadas con flujos de bitumen, foraminíferos y pocos gasterópodos.
	Mineral	**2.54**	**G15**	Caliza limpia de color gris claro, con textura de wackestone a packstone, con abundantes foraminíferos y trazas de estilolitos.
	Trampa	**3.50**	**G16**	Caliza de color gris oscuro a negro, con textura de packstone a grainstone, bituminosa por abundantes flujos, con fósiles de foraminíferos ovoides, bivalvos y gasterópodos puntuales.
	Mineral	**5.34**	**G17**	Caliza limpia de color gris claro, con textura de wackestone con tramos de mudstone. Presenta gasterópodos y foraminíferos.
	Trampa	**10.59**	**G18**	Caliza bituminosa de color gris oscuro, bioturbada, con textura de wackestone a packstone, con foraminíferos y oolitos en la matriz, y moderados flujos de bitumen.
	Mineral	**13.31**	**G19**	Caliza limpia de color gris claro blanquecino, con texturas de wackestone a grainstone de grano grueso, con fósiles de foraminíferos largos (Peruvianella peruviana) y ovoides.
	Trampa	**3.82**	**G20**	Caliza de color gris oscuro, bituminosa, con textura de packstone a grainstone, presencia de foraminíferos ovoides y oolitos, y flujos moderados de bitumen con débil bioturbación en ciertos tramos.
	Marcador/Posible Mineral	**5.35**	**G21**	Caliza limpia de color gris claro blanquecino, con textura de wackestone a grainstone, con abundantes foraminíferos ovoides y trazas de estilolitos.
	Trampa	**2.20**	**G22**	Caliza de color gris oscuro, con textura granodecreciente de grainstone a mudstone, bituminosa, con canales y flujos. Presenta foraminíferos cortos predominantemente y pocos gasterópodos.
	Trampa	**2.11**	**G23**	Caliza limpia de color gris claro, con textura de wackestone a packstone, con débiles a moderadas venillas de bitumen en flujos cargados de fósiles, y abundantes foraminíferos cortos.
	Marcador	**0.97**	**G24**	Caliza bituminosa de color gris oscuro, con textura de mudstone con tramos cortos de wackestone, con presencia de pocos foraminíferos y bitumen moderado en laminaciones.
	Trampa	**0.83**	**G25**	Caliza limpia de color gris claro, con textura de packstone a grapestone, con foraminíferos ovoides y oolitos abundantes, y estilolitos esporádicos.

	Marcador/trampa	0.73	G26	Caliza de color gris a gris oscuro, con textura de mudstone, bioturbada, margosa y con débiles venillas de bitumen.
	Mineral	9.37	G27	Caliza limpia de color gris claro blanquecino, con textura de wackestone a grainstone de grano medio, con abundantes bioclastos en matriz de foraminíferos y gasterópodos, y trazas de bitumen.
	Marcador/trampa	1.66	G28	Caliza limpia de color gris, laminar, con texturas de mudstone a wackestone y bitumen alineado según la laminación.
	Mineral	14.98	G29	Caliza limpia de color gris claro, con textura de packstone a grapestone, con foraminíferos ovoides y oolitos abundantes, y tramos con moderadas venillas de bitumen.
	Trampa	2.92	G30	Caliza de color gris oscuro, con textura granodecreciente de grainstone a wackestone, bituminosa por flujos, con bioturbación moderada y bioclastos de foraminíferos.
	Trampa	1.65	G31	Caliza de color gris, con textura de packstone y bioturbación moderada a fuerte. Presenta foraminíferos y oolitos, con trazas de venillas de calcita y moderadas venillas de bitumen.
	Trampa	4.54	G32	Caliza margosa de color gris oscuro a negro, con textura de wackestone a packstone, con bioturbación moderada, foraminíferos y débiles venillas de bitumen.
	Mineral	14.98	G33	Caliza limpia de color gris claro blanquecino, con textura de grainstone a grapestone, de grano grueso, con foraminíferos largos (Peruvianella peruviana) y cortos, y trazas de bitumen.
MARKER	**MARKER**	6.32	M1	Caliza de color gris oscuro, laminada, con textura de mudstone y con intercalaciones de calizas grises claras y margosas oscuras. Débil bioturbación y niveles con abundantes flujos de bitumen.
	Posible Mineral	3.63	M2	Caliza de color gris, con textura de wackestone a packstone. Débil presencia de foraminíferos alargados y oolitos, con venillas débiles de bitumen.
	Trampa	13.66	M3	Caliza de color gris oscuro, ligeramente margosa, con textura de packstone y tramos cortos de wackestone, con presencia de foraminíferos alargados y fragmentos de conchas, y venillas moderadas de bitumen.
Jumasha Medio	Posible Mineral	15.65	J1	Caliza bioclástica de color gris claro, con textura de grainstone y tramos cortos de wackestone, con abundantes foraminíferos y zonas con venillas de bitumen.
	Mineral		J2	

Figura 50

Correlación de facies del Horizonte Beta. Se correlacionan niveles favorables y niveles guía y trampa.

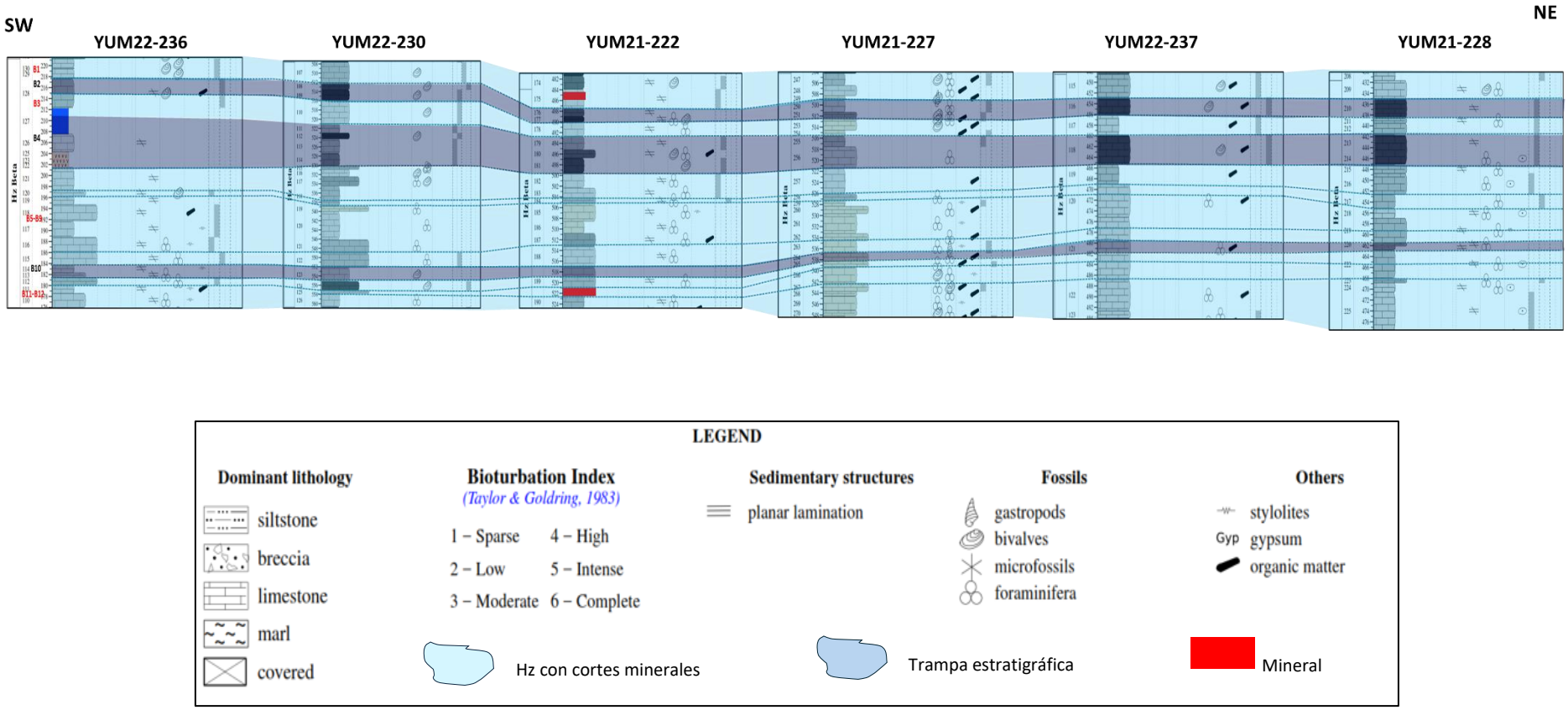


Tabla 6

Descripción de facies del Horizonte Beta

UNIDAD	GEO-INTERPRETACIÓN	PROMEDIO PROF	FACIE	DESCRIPCIÓN
HORIZONTE BETA	Mineral	5.00	B1	Caliza gris a gris clara, de textura wackestone, débilmente bioturbada, con fragmentos delgados de conchas y un débil venilleo de bitumen en flujos.
	Trampa	3.00	B2	Calizas grises oscuras a negras, margosas y bioturbadas, con textura wackestone, trazas de fragmentos de conchas y menor proporción de foraminíferos.
	Mineral	3.00	B3	Caliza gris clara, limpia, con textura wackestone, presencia de foraminíferos y bivalvos, y débil a moderado venilleo de bitumen en flujos asociados a fósiles como foraminíferos y bivalvos.
	Trampa	6.00	B4	Calizas de color gris a gris oscuro, con débil bioturbación y tramos cortos limpios. Presentan textura wackestone, escasos fósiles en forma de fragmentos rotos de conchas, y débil flujo de bitumen.
	Mineral	5.00	B5	Calizas limpias de color gris claro, con trazas de bioturbación en tramos cortos. Presencia de foraminíferos con textura mudstone a wackestone.
	Mineral	2.00	B6	Caliza limpia de color gris claro, con textura wackestone a packstone, presencia de foraminíferos, débil venilleo irregular de bitumen y débil bioturbación.
	Mineral	9.00	B7	Caliza limpia, de color gris a beige, con textura wackestone y tramos de packstone, presencia de foraminíferos y un débil venilleo de bitumen.
	Mineral	3.00	B8	Caliza limpia, de color gris a beige, con textura wackestone y tramos cortos de packstone, presencia de foraminíferos, trazas de gasterópodos, estilolitos moderados y tramos puntuales con débil bioturbación.
	Mineral	2.00	B9	Caliza de color gris, con textura grainstone, abundantes foraminíferos, débil bioturbación y moderado venilleo de bitumen.
	Trampa	3.00	B10	Caliza gris clara con moderada bioturbación, textura packstone, presencia de foraminíferos y débil a moderado venilleo de bitumen.
	Mineral	2.00	B11	Caliza limpia, de color gris a beige, con textura wackestone, presencia de foraminíferos y fragmentos rotos de conchas. Se observan canales cortos de textura packstone.
	Mineral	5.00	B12	Caliza limpia, de color beige, con textura wackestone, presencia de foraminíferos y tramos de textura mudstone, con moderada presencia de estilolitos.

6.2 Análisis Microscópico de Facies

Se elaboraron 34 secciones delgadas a través la empresa CM PETROTOMIA, las cuales fueron analizadas en el Laboratorio de Microscopía de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica como parte de esta investigación. El estudio microscópico de las facies sedimentarias se centró en los sondajes YUM21-225, YUM22-229 y YUM22-230, seleccionados por su integridad y representatividad en los niveles de interés, sin distorsión ni alteración mineral significativa. En estas muestras, se identificó y describió la fauna fosilífera presente, así como las condiciones de desarrollo asociadas a cada una.

6.2.1 Fauna Fosilífera y Ambiente Paleoecológico

En total se reconocieron hasta seis géneros de foraminíferos bentónicos, la mayoría con ambientes de desarrollo de plataformas poco profundas con climas cálidos, condiciones mesotrópicas y estables a alta variabilidad salina.

Los gasterópodos encontrados en las calizas de la Formación Jumasha generalmente se asocian con ambientes de alta energía, como costas expuestas, plataformas marinas someras con fuerte acción de olas y corrientes, o zonas con frecuentes disturbios físicos, esto por el espesor de sus conchas. Las conchas gruesas de los gasterópodos ofrecen una defensa eficaz contra depredadores como crustáceos o peces trituradores, además de resistir la abrasión causada por partículas sedimentarias en movimiento o el impacto de olas. Estas estructuras también actúan como indicadores paleoambientales, ya que su presencia suele asociarse a condiciones de alta energía o estrés físico, como oleajes intensos, fluctuaciones en salinidad o temperatura, y competencia por refugio en zonas con espacio limitado, características típicas de plataformas tropicales o subtropicales del Cretácico. Además, incluyen géneros que habitaban en sustratos carbonatados y que, a menudo, coexistían con otros organismos bentónicos, como bivalvos y foraminíferos, convirtiéndose en elementos clave para la correlación estratigráfica dentro de la formación. Estos gasterópodos son fácilmente

identificables y varían en tamaño, desde formas diminutas hasta ejemplares que alcanzan dimensiones centimétricas.

En cuanto a las algas, se tiene la presencia de 06 especímenes de algas verdes en su mayoría y un especímen de alga roja, además de una cianobacteria (*Fontofilia furculata)* clasificada como alga por su capacidad productora de carbonato. Según Flügel E. (2010) las algas son plantas acuáticas fotosintéticas bentónicas y planctónicas, que van desde formas unicelulares de tamaño micrométrico hasta grandes algas marinas de varios metros de longitud. Estos organismos eucariotas presentan ciclos de vida extremadamente variados, caracterizados por diferentes complejos de pigmentos fotosintéticos, que junto con otros caracteres se utilizan para distinguir los principales grupos, es decir, algas rojas, verdes y pardas (*Rhodophyta, Chlorophyta, Phaeophyta).*

La distribución de las algas bentónicas recientes está controlada por factores físicos (luz, temperatura, energía del agua, sustrato), químicos (química del agua, salinidad, gases disueltos, pH) y biológicos (nutrientes, competencia, herbívoros y sucesión ecológica). La intensidad de la luz disminuye con la profundidad, pero las algas fotosintéticas pueden encontrarse a mayores profundidades. Las algas rojas modernas, adaptadas a la luz azul y verde, se encuentran a mayores profundidades, mientras que las algas verdes calcificadas prefieren aguas poco profundas debido a su afinidad con la luz roja.

Así mismo, la presencia de braquiópodos los que Flügel E. (2010) también menciona como organismos marinos con una concha de dos valvas desiguales, divididos en dos grupos: *Inarticulata,* sin bisagras, y *Articulata*, con bisagras articuladas y conchas de calcita. Los Articulata fueron abundantes en el Paleozoico y sobrevivieron a varias extinciones, aunque su diversidad disminuyó. Durante el Cretácico, estos braquiópodos se adaptaron a nichos en aguas frías y profundas o en arrecifes tropicales. Solo algunos grupos, como los *rinconélidos,*

terebratúlidos y Lingulata, sobrevivieron al evento de extinción Cretácico-Terciario y persisten en la actualidad.

En particular, los fragmentos de equinodermos en las calizas del Jumasha son indicadores de un ambiente marino somero de alta energía, ya que los equinodermos (como crinoideos o equinoideos) eran abundantes en este tipo de entornos durante el Cretácico. Estos organismos vivían en plataformas carbonatadas cálidas y bien oxigenadas, típicas de la época. Los equinodermos son invertebrados marinos con un esqueleto calcáreo interno compuesto de placas, simetría radial de cinco partes y un sistema vascular acuífero que circula agua por su cuerpo. La mayoría son bentónicos, viviendo en el fondo marino, aunque algunos pueden nadar o flotar. Este filo, conocido desde el Cámbrico, incluye subgrupos como los crinoideos y equinoideos, algunos de los cuales fueron importantes constructores de rocas durante el Fanerozoico.

A. Foraminíferos Bentónicos:

a.1. Perouvianella peruviana (Steinmann): Perouvianella peruviana es un foraminífero grande con una concha porcelánica y discoidal que exhibe la arquitectura básica del género Perouvianella. Los especímenes pueden alcanzar hasta 7 mm de diámetro, mientras que la forma A puede variar de 1 a 2 mm (Consorti et al. , 2017) Se encuentra en ambientes marinos, típicamente en zonas de plataformas carbonatadas. Estos ambientes eran generalmente cálidos y poco profundos, adecuados para la vida de foraminíferos, se asocia con depósitos de grano fino a medio, como grainstone y packstone. Los depósitos que contienen P. peruviana muestran una transición de facies que incluye laminación fina y depósitos transgresivos. La presencia de estas características sugiere que el hábitat estaba influenciado por cambios en el nivel del mar, con períodos de profundización y transgresión marina.

a.2. Foraminifera Miliolida: Son un grupo de foraminíferos que se caracterizan por tener conchas con paredes de caliza o carbonato de calcio que pueden presentar diferentes grados de micritización. Las conchas de los miliólidos suelen ser porcelánicas, con una estructura micrítica o granular. A menudo tienen cámaras subdivididas por particiones internas, conocidas como septa. Pueden variar en forma, desde formas planas hasta formas más complejas o espiraladas.

Ambiente: Los miliólidos prosperan en ambientes marinos cálidos y tropicales, donde la salinidad suele ser más estable y alta. Estos ambientes incluyen arrecifes de coral, lagunas costeras y plataformas continentales. Tienden a evitar ambientes con una fuerte influencia de aguas dulces que pueden reducir la salinidad. Se encuentran con mayor frecuencia en áreas donde el suministro de agua dulce es mínimo o bien mezclado con agua salina (Scott & Faber, 1966).

Pseudopeneroplis es un género extinto de foraminíferos porcelanosos, asignado a la familia *Soritidae* dentro del suborden *Miliolina*. Fue descrito por primera vez en 2018 por Consorti y sus colaboradores. Este género incluye a la especie *Pseudopeneroplis oyonensis*, que ha sido registrada únicamente en la plataforma occidental de América del Sur, específicamente en Perú, y se asocia con depósitos del Cenomaniano tardío del Cretácico, destaca por su concha flabelliforme con cámaras planispiralmente involutas en su etapa temprana de desarrollo. Su hábitat se limitaba a entornos marinos poco profundos, donde se cree que pudo coexistir en zonas con variaciones de salinidad, lo que le permitió desarrollarse en condiciones mesotróficas.

a.3. Foraminifera Heterostegina: Es un género de foraminíferos que pertenece a la subfamilia *Heterosteginidae* dentro de la familia *Nummulitidae*. Tiene una concha de forma generalmente discóide o lenticular, con una estructura en espiral. La

concha puede ser bastante grande en comparación con otros foraminíferos, alcanzando hasta varios centímetros de diámetro, se caracteriza por una disposición compleja de cámaras dispuestas en espiral. Estas cámaras están divididas por tabiques internos y pueden exhibir una textura reticulada o estrellada en la superficie.

Son especialmente comunes en el Cretácico, aunque también se encuentran en estratos del Paleógeno. Estos foraminíferos se conocen en formaciones geológicas del Cretácico Superior y del Paleoceno. *Heterostegina* vivía en ambientes marinos, a menudo en plataformas continentales y zonas de aguas someras. Su presencia en los depósitos sedimentarios puede indicar ambientes marinos cálidos y poco profundos, se encuentran tanto en ambientes tropicales como en templados cálidos.

a.4. **Rotorbinella mesogeensis:** Es una especie de foraminífero bentónico, pertenece a la familia *Planorbulinidae*, que agrupa a foraminíferos bentónicos que se caracterizan por tener conchas calcáreas y están relacionados con ambientes marinos someros, es utilizada como un fósil índice en estudios estratigráficos debido a su presencia en ciertos períodos geológicos. Es comúnmente encontrada en sedimentos marinos del Cretácico. Se encontraba en entornos de alta productividad biológica, con una acumulación de sedimentos carbonatados.

La especie es característica de ambientes donde existía agitación moderada a alta del agua, como en zonas de plataformas internas o medianamente externas, pero no en aguas profundas. La energía del agua, a menudo causada por olas y corrientes, influiría en la distribución de los sedimentos carbonatados. Como la mayoría de los foraminíferos marinos, *Rotorbinella mesogeensis* prosperaba en aguas de salinidad normal (alrededor de 35 PSU, partes por mil), por lo que no estaba presente en ambientes salobres o de agua dulce. Los registros fósiles sugieren que esta especie

vivió en áreas donde el clima era cálido, lo que favorecía la proliferación de foraminíferos y otros organismos marinos en las plataformas.

a.5. **Orbitolinidos (Textulariina, Orbitolinacea):** Son foraminíferos aglutinados grandes, están compuestos de partículas de sedimento unidas por un cemento calcáreo. Estas estructuras pueden ser bastante complejas, con múltiples cámaras que se organizan en formas distintivas. Constituyen marcadores bioestratigráficos importantes y se utilizan para biozonaciones, particularmente para las plataformas y rampas del Barremiense, Aptiense, Albiense y Cenomaniense.

Los *orbitolinidos* eran foraminíferos bentónicos que habitaban tanto en plataformas marinas poco profundas como en rampas oceánicas más profundas. Preferían aguas cálidas y claras, típicas de ambientes marinos tropicales a subtropicales, donde la claridad del agua facilitaba la penetración de la luz solar, esencial para el ecosistema de algas y otros microorganismos fotosintéticos que sustentaban a estos foraminíferos y a su comunidad ecológica.

a.6. Foraminifera Climacammina: Es un género de foraminíferos bentónico pequeño pero importante, vivió durante el Paleozoico tardío y el Mesozoico temprano, particularmente en el Cretácico inferior. Se caracteriza por tener una concha compuesta de carbonato de calcio, en las primeras etapas de crecimiento, las cámaras de su concha están dispuestas en dos filas paralelas, lo que se denomina "biseriada". En la etapa final de crecimiento, las cámaras se organizan en una sola fila, característica conocida como "uniseriada". La apertura de la concha es cribada, lo que significa que está perforada con múltiples pequeños agujeros, a través de los cuales el organismo extendía sus pseudópodos para alimentarse y desplazarse. Se encuentra en plataformas carbonatadas asociadas a ambientes marinos desde la zona intermareal hasta la submareal profunda (hasta 200mts). Estos ambientes son bien

oxigenados y reciben suficiente luz solar, lo que sustenta un ecosistema rico en vida bentónica.

B. Gasterópodos

b.1. Bulbobuccicrenata: Es un género de gasterópodos fósiles del Cretácico, asociado a ambientes marinos someros en plataformas carbonatadas. Su concha bulbosa y ornamentada permite su uso en estudios de estratigrafía y paleoambientes, siendo indicativo de condiciones marinas tropicales o subtropicales.

C. Algas

c.1. Sycidium Charofites: Las carofitas son algas verdes macrófitas de estructura visible y compleja que se pueden clasificar en varias familias y órdenes. Sycidium es un género extinto de algas carofitas que pertenece al orden Charales. Estas algas se caracterizan por tener estructuras reproductivas especializadas, llamadas oogonios, que se encuentran en los nudos de sus ramas. Vivían en ambientes de lagunas, estuarios y en aguas poco profundas. Los fósiles de *Sycidium* se han encontrado en depósitos de carbonatos lagoonales, indicando que preferían ambientes acuáticos poco profundos y posiblemente zona intermareal.

c.2. Gymnocodiáceas Permocalculus: Son un grupo de algas rojas pertenecientes a la subclase *Gymnocodiaceae* dentro de la clase *Rhodophyta* y su existencia se remonta principalmente al Paleozoico y al Mesozoico. Tienen un talo calcáreo, que es la estructura vegetativa principal de las algas. El talo está compuesto por una serie de segmentos o nodos que pueden estar firmemente unidos entre sí. Tienen una médula que suele ser ancha y pobremente calcificada, lo que les da cierta flexibilidad. La médula está rodeada por un córtex (parte externa) que contiene numerosos poros ramificados.

Permocalculus es un género caracterizado por segmentos estrechamente unidos con una médula pobremente calcificada y un córtex con numerosos poros ramificados. Vivía en ambientes marinos someros, especialmente en plataformas carbonatadas y facies de retroarrecife, donde prosperaba en aguas cálidas y claras, protegidas detrás de barreras arrecifales.

c.3. Porocharacean gyrogonites: En el caso de los *Porocharacean gyrogonites*, estos pertenecen al orden *Porocharales*, que incluye varias familias de carofitas. Viven sumergidas y ocurren predominantemente en ambientes de agua dulce oligotrófica y poco profundos de lagos y ríos, así como en aguas salobres de mares marginales (Flügel E. , Microfacies of Carbonate Rocks, 2010).

c.4. Boueina: Es un género de algas verdes calcáreas extintas que pertenecen a la familia *Dasycladaceae*. Se caracterizaban por su estructura interna ramificada y su capacidad para calcificarse, contribuyendo a la formación de depósitos de carbonato en ambientes marinos someros durante el Mesozoico. Los fósiles de *Boueina* se encuentran principalmente en formaciones del Jurásico y Cretácico. Esta alga se caracteriza por su estructura calcárea y su morfología cilíndrica o en forma de sacos, con un esqueleto interno formado por filamentos calcificados. Las especies de *Boueina* tenían una organización interna compleja, con una medula central compuesta de filamentos y una corteza periférica con ramificaciones.

c.5. Son un género de algas verdes calcáreas fósiles que pertenece a la familia *Dasycladaceae*. Estas algas son conocidas por su presencia en depósitos carbonatados marinos, principalmente durante el Carbonífero tardío y el Pérmico temprano. La calcificación de su talo contribuyó a la formación de estructuras de sedimentación importantes en ambientes de plataforma marina somera. Presentan talos cilíndricos con ramificaciones, a menudo en forma de placas. Las ramas

pueden tener formas cilíndricas o con aspecto de mancuerna. Incluye un eje central rodeado de ramas laterales, que se agrupan de manera compacta. Esta configuración le da una apariencia segmentada y, en las secciones delgadas, puede observarse como fragmentos en forma de placas con numerosas ramas. Epimastopora estaba asociada a ambientes marinos someros, como plataformas y lagunas marinas tropicales. Su presencia en el registro fósil se relaciona con la formación de grainstones y otros tipos de rocas carbonatadas.

c.6. Terquemella: Es un género de algas verdes calcáreas fósiles que pertenece a la familia *Dasycladaceae*. Estas algas son conocidas en el registro fósil principalmente en los depósitos del Jurásico y Cretácico. Suelen presentar una morfología cilíndrica con una estructura interna compleja, compuesta por un eje central y ramas laterales, que se disponen en forma radial alrededor del talo. Vivían en ambientes marinos someros, principalmente en plataformas carbonatadas tropicales y subtropicales. Los fósiles de *Terquemella* son útiles para estudios paleoambientales y bioestratigráficos, ya que su presencia en los sedimentos indica condiciones marinas cálidas y de baja energía.

c.7. Udoteaceans: Son una familia de algas verdes calcáreas que pertenecen al filo *Chlorophyta,* pueden tener diversas formas, incluyendo talos en forma de abanico, láminas, o estructuras ramificadas. Uno de los géneros más conocidos es *Halimeda*, que forma segmentos o discos calcáreos conectados por tejidos más blandos. Habitan en aguas marinas tropicales y subtropicales, principalmente en zonas someras como lagunas, arrecifes y fondos arenosos. Al ser productoras de carbonato, desempeñan un papel importante en la formación y el mantenimiento de los ecosistemas de arrecifes de coral.

c.8. Fontofilia furculata: Es un género de fósiles de cianobacterias calcáreas que se encuentran principalmente en depósitos marinos antiguos. Al igual que otras cianobacterias calcáreas, *Fontofilia furculata* contribuyó a la formación de sedimentos carbonatados, especialmente en ambientes marinos someros, como plataformas y *lagoons*. Presentan una estructura tubular con ramificaciones finas. Habitaban en aguas marinas someras, donde contribuían al crecimiento y estabilización de los sedimentos. Las condiciones ideales para su desarrollo incluían aguas cálidas y claras.

D. Braquiópodos

d.1. Braquiópodos Strophomenida: Los braquiópodos estrofomenidos *(Strophomenida*) fueron un orden importante del tipo *Articulata* que habitaron los mares desde el Ordovícico hasta el Jurásico Medio. Estos organismos se caracterizaban por una válvula pedicular grande y convexa y una válvula braquial más plana o cóncava, caracterizada por láminas onduladas que están plegadas adyacentes a las pseudopunciones, esta característica distingue la concha de las conchas de bivalvos, que también pueden presentar microestructuras laminares. Eran organismos bentónicos, es decir, vivían en el fondo del mar. Eran sésiles y se fijaban al sustrato mediante un pedículo en etapas tempranas de su vida, aunque muchos vivían apoyados sobre el sedimento en fases posteriores, debido a su gran tamaño y peso de sus conchas. Estos organismos eran filtradores, alimentándose de partículas suspendidas en el agua. Se encuentran comúnmente en calizas y lutitas que se depositaron en ambientes de plataforma marina somera, como en lagoons protegidos, arrecifes y zonas de aguas poco profundas.

E. Artrópodos

e.1. Ostrácodos: Los ostrácodos son un grupo de artrópodos microscópicos que pertenecen a la clase Ostracoda. Los ostrácodos son artrópodos bivalvos, pequeños y comunes, que suelen medir un par de milímetros o menos. Tienen dos valvas de forma similar, pero de tamaño ligeramente distinto que a veces se superponen. Conforme crecen, estos organismos mudan sus valvas, por lo que es más común encontrar capas de valvas desarticuladas en las calizas que conchas completas. Los ostrácodos han demostrado adaptarse a un amplio rango de temperaturas, desde aguas frías hasta tropicales, lo que les permite ocupar una diversidad de climas y latitudes, sensibles a la calidad del agua, pueden tolerar cierto grado de variación en los niveles de oxígeno y pH, pero cambios drásticos pueden llevar a reducciones o extinciones locales. Ocupan una variedad de sustratos, desde fondos fangosos y arenosos hasta rocosos, dependiendo de la especie y las condiciones del ambiente.

F. Equinodermos

e.1. Equinoideo Diadema: El género Diadema incluye erizos de mar con espinas largas y delgadas, que pueden alcanzar hasta 30 cm de longitud. Estas espinas son frágiles y afiladas, ayudándoles en su defensa contra depredadores. Durante el Cretácico, los equinoideos como *Diadema* se diversificaron en aguas someras y sus fósiles se encuentran en depósitos marinos, especialmente en rocas sedimentarias. Estas especies se adaptaron a diversos nichos ecológicos, como la filtración y la depredación de pequeños organismos marinos, y jugaron un papel clave en la regulación de las algas en ambientes de arrecife.

G. Esponjas

g.1. Stromatoporoidea: Son un grupo extinto de organismos marinos que vivieron principalmente desde el Ordovícico hasta el Cretácico. Fueron importantes

constructores de arrecifes en los mares tropicales durante el Paleozoico y el Mesozoico. Aunque durante mucho tiempo se les clasificó como esponjas, su clasificación exacta ha sido tema de debate, y ahora generalmente se consideran esponjas calcáreas o esponjas con afinidades desconocidas. Los *stromatoporidos* fueron constructores de arrecifes cruciales comparables en importancia a los corales, coexistieron con corales, braquiópodos y otros organismos marinos. Formaron estructuras macizas que sirvieron como base para los arrecifes marinos, creando hábitats para una amplia variedad de especies marinas. Su capacidad para secretar carbonato de calcio les permitió formar estructuras robustas y duraderas. Se cree que las algas calcáreas y microorganismos incrustantes a menudo crecían en las estructuras de los stromatoporidos, contribuyendo aún más a la sedimentación y estabilidad del arrecife. Aunque su diversidad disminuyó al final del Devónico, algunos sobrevivieron hasta el Cretácico, pero se extinguieron al final de este período, posiblemente debido al mismo evento que acabó con los dinosaurios.

6.2.2 Descripción Microscópica de Facies por Niveles

A. Formación Jumasha – Marker

Tabla 7

Descripción macroscópica y microscópica de formación Jumasha – Marker

	Descripción macroscópica	**Descripción microscópica**
1. SD636496	Caliza de textura mudstone, matriz margosa gris oscura intercaladas con niveles menores de carbonato gris claro limpio, textura laminada. (Anexo 1: Fotografía 15)	Caliza micrítica margosa, textura mudstone con apariencia granular, intercalada con niveles de caliza esparítica, esporádicos ostrácodos direccionados en laminaciones. (Anexo 1: Fotografía 16)
2. SD636497	Caliza limpia gris claro textura packstone a grainstone con abundantes foraminíferos	Caliza limpia esparítica bioclástica de textura packstone, abundantes foraminíferos del tipo *Miliolidae-mil y*

	largos y cortos, presencia de bitumen en venillas irregulares en intersticios y esporádicas microvenillas de calcite. (Anexo 1: Fotografía 17)	*Peruvianella Peruviana-per* en cortes oblicuos, ecuatoriales y transversales, estas última tienen bordes irregulares por matriz bituminosa, aparentemente inyectada después de la formación del carbonato, que dibujas aparencias de bioclastos en muestra macroscópica, ocasionales *Rotorbinella mesogeensis-rt* en sección oblicua con su concha involuta, escasos ostrácodos y microvenillas de calcita. (Anexo 1: Fotografía 18)

B. Formación Jumasha Superior-Horizonte Gasterópodo

Para la Estructura Tomasa, este horizonte es el más importante ya que en sus 180 metros de espesor se han encontrado cuerpos masivos de mineral de alta ley, llamados cuerpos "Bolones 1 y 2". Sin embargo, el mineral se extiende a través de niveles interiores de este horizonte favorable. La descripción de los niveles que lo componen ayuda a definir el tipo de caliza que suele contener el mineral y definir algunos niveles internos que funcionan como sellos. Las facies estudiadas microscópicamente son 15 de las 33 reconocidas en las correlaciones de columnas estratigráficas. El nivel Gasterópodo puede que represente el margen de la plataforma Jumasha.

Las texturas grainstone y grapestone, predominantes en las muestras como G3, G9 y G32, indican ambientes de alta energía con acumulación y transporte de granos bioclásticos, asociados a sectores abiertos y bien oxigenados, facies reconocidas como las que albergan el mineral. En contraste, las texturas mudstone y wackestone, observadas en muestras como G8, G22 y G30, reflejan condiciones más tranquilas o restringidas, posiblemente influenciadas por variaciones en salinidad y temperatura que son más

pronunciadas debido a la falta de circulación de agua con el mar abierto, muchas de estas reflejan los sellos internos.

La diversidad de fósiles, como foraminíferos, gasterópodos y bioclastos, junto con la presencia de bioclastos micritizados, pellets y ooides, respalda una deposición en una plataforma somera dinámica y heterogénea, marcada por episodios de alta energía alternados con áreas de menor energía. Además, los procesos diagenéticos, como la actividad del bitumen y la recristalización, complementan la interpretación de un entorno sedimentario influenciado por fluctuaciones en energía, oxigenación y transporte.

Figura 51

Ubicación de las secciones delgadas para el Horizonte Gasterópodo. Columna Sedimentaria del sondaje YUM22-230. (Ver columna estratigráfica completa ANEXO 15)

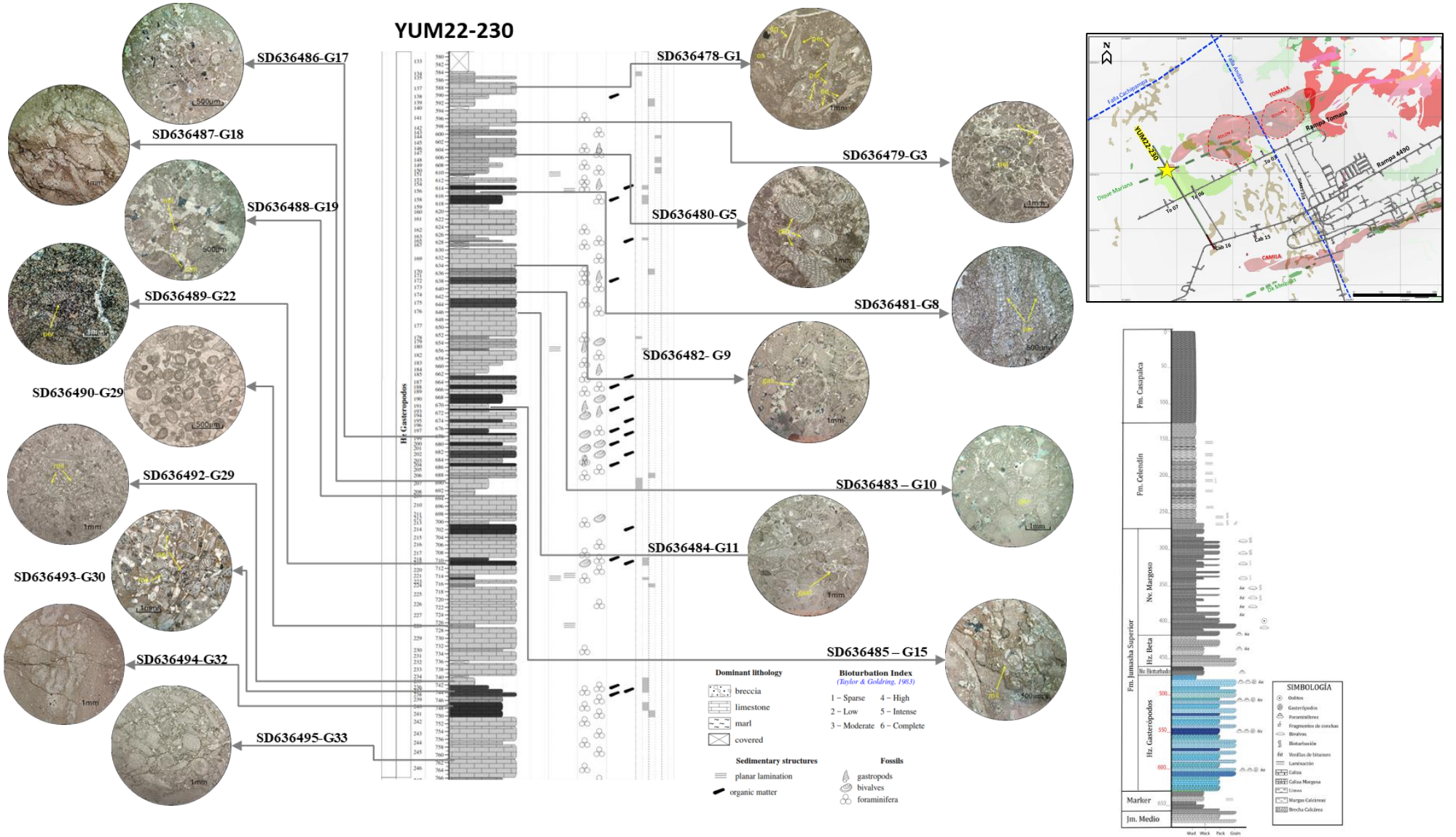


Tabla 8

Descripción macroscópica y microscópica de formación Jumasha Superior-Horizonte Gasterópodo

	Descripción macroscópica	Descripción microscópica
1. SD636478: G1	Caliza limpia gris claro textura packstone a grainstone, presencia de foraminíferos con venilleo irregular de bitumen. (Anexo 1: Fotografía 19)	Caliza micrítica limpia bioclástica de textura packstone con presencia de foraminíferos del tipo *Peruvianella Peruviana-per* en cortes axiales y oblicuos y pequeños fósiles de Climacammina- clm, además de equinodermos-eq y espinas de equinordermos-sp y ostrácodos-os, con flujos margosos delimitados por venillas bituminosas cargados de fragmentos de fósiles de *Peruvianella Peruviana-per y ostrácodos-os* y algunos pellets-pel. Esporádicas microvenillas de calcite. (Anexo 1: Fotografía 20)
2. SD636479: G3	Caliza limpia gris claro textura grainstone de grano fino con presencia de bastantes fósiles de posibles foraminíferos, débil venilleo irregular de bitumen y presenta tramos con reemplazamiento mineral. (Anexo 1: Fotografía 21)	Caliza limpia bioclástica esparítica de textura grainstone a grapestone con presencia de foraminíferos del tipo *Peruvianella Peruviana-per* en cortes axiales, cortes ecuatoriales y oblicuos, abundantes pellets-pel. Trazas de microvenillas de bitumen. (Anexo 1: Fotografía 22)
3. SD636479: G5	Caliza limpia gris claro textura grainstone con abundantes foraminíferos largos y cortos, débil venilleo irregular de	Caliza limpia esparítica bioclástica de textura grainstone, abundantes foraminíferos del tipo Peruvianella Peruviana-per en cortes oblicuos, ecuatoriales y transversales, así

	bitumen y esporádicas microvenillas de calcite. (Anexo 1: Fotografía 23)	mismo del tipo Miliolidae-mil y esporádicos del tipo Bulbobuccicrenata-bbc, así mismos fragmentos de otros bioclastos, probablemente estructuras de ostrácodos o bivalvos, y pellets-pel en la matriz. (Anexo 1: Fotografía 24)
4. SD636481: G8	Caliza margosa, textura wackestone fuertemente bioturbada con microvenillas esporádicas de bitumen, presencia y fragmentos de conchas de bivalvos y otros bioclastos. (Anexo 1: Fotografía 25)	Caliza mudstone a wackestone de grano medio con moderada bioturbación, esporádicos fósiles micritizados de *Perouvianella peruviana (Steinmann) en* sección oblicua (b) mostrando información intercameral en una alternancia con séptulas. Manchas de carbonatos más claros y oscuros, débil presencia de bitumen en venillas, matriz micritizada(c). (Anexo 1: Fotografía 26)
5. SD636482: G9	Caliza limpia gris claro textura grainstone con presencia de muchos foraminíferos, escasos gasterópodos, tramos con venilleo irregular de bitumen y tramos débilmente bioturbados, presenta tramos con reemplazamiento mineral. (Anexo 1: Fotografía 27)	Caliza grainstone, estructuras de bioclasto de gasterópodo reemplazada por calcita, porosidad intragranular del gasterópodo con peloides micritizados-pel (a,c). Presencia de miliólidos-mil micritizados (e,f) y abundantes foraminíferos de la especie *Perouvianella peruviana-per (Steinmann)* en sección subaxial periférica que muestra la disposición de los elementos esqueléticos (b,e) y otras secciones axiales, bioclastos

		fuertemente micritizadas. Presencia de intraclastos-int subredondeado conteniendo bioclastos no identificados (d). (Anexo 1: Fotografía 28 y 29)
6. SD636483: G10	Catalogado como una caliza limpia gris claro textura grainstone con abundantes foraminíferos y algunos gasterópodos, tramos con venilleo irregular de bitumen y tramos débilmente bioturbados. (Anexo 1: Fotografía 30)	Caliza grainstone, limpia con abundantes foraminíferos de la especie Perouvianella peruviana-per (Steinmann), secciones subaxiales del estadio espiral (a) y especímenes megasféricos en sección axial (b). Observa las cavidades cónicas múltiples alineadas en la parte central de la cámara, fósiles micritizados (c) y cemento de esparita, algunos poros rellenos por calcita. (Anexo 1: Fotografía 31)
7. SD636484: G11	Caliza limpia gris claro textura grainstone a grapestone, abundantes foraminíferos y gasterópodos, débil venilleo irregular de bitumen. (Anexo 1: Fotografía 32)	Caliza de textura grainstone de grano medio, matriz y bioclastos fuertemente micritizados, presencia de estilolitos. Los bioclastos son mayormente foraminíferos del tipo Perouvianella peruviana-per (Steinmann) secciones subaxiales y axiales del estadio espiral (d,e), presencia de oolitos-oo deformados y micritizados (c), esporádicos caparazones de gasterópodos-gast (b) y fragmentos rotos de briozooarios-bry(a). (Anexo 1: Fotografía 33)

8. SD636485: G15	Caliza limpia gris textura grainstone a grapestone presencia de abundantes foraminíferos y puntuales gasterópodos, tramos con moderado venilleo irregular de bitumen y esporádicas venillas de calcite. (Anexo 1: Fotografía 34)	Caliza de textura packstone a grainstone de grano fino a muy fino, abundantes fantasmas de fósiles micritizados (b,c), no identificados, posiblemente foraminíferos, rodeados de materia orgánica o flujos de estilolitos, algunos fragmentos de conchas y se reconoce la presencia de foraminíferos miliólidos-mil (a) con paredes en su mayoría micritizadas. (Anexo 1: Fotografía 35)
9. SD636486: G17	Caliza limpia gris clara, textura grapestone de grano muy fino, con matriz bioclástica de fósiles no reconocidos en macro, presencia de estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 36)	Caliza pelesparítica, textura grapestone de grano fino, peloides redondeados micritizados, presencia de microvenillas de bitumen en estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 37)
10.SD636487: G18	Caliza gris, textura packstone de grano fino bioturbada con venilleo de bitumen y presencia de foraminíferos. (Anexo 1: Fotografía 38)	Caliza micrítica de textura mudstone, fantasmas de fósiles que dejan zonas blanqueadas en matriz. Calcita diseminada en granos irregulares por toda la matriz, presencia de estilolitos en el sentido de los aparentes flujos de carbonato. (Anexo 1: Fotografía 39)
11.SD636488: G19	Caliza limpia gris clara, textura grainstone con presencia de foraminíferos y gasterópodos, tramos con débil venilleo de bitumen en	Caliza micrítica bioclástica textura grainstone a grapestone de grano fino con abundantes peloides-pel y foraminíferos miliólidos-mil (b,c,d), foraminíferos en corte longitudinal que pasa por dos cámaras,

	estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 40)	Climacammina-clm (c), parches de calcita intergranular, algunas microvenillas de calcita. (Anexo 1: Fotografía 41)
12.SD636489: G22	Caliza gris oscura bituminosa y margosa, textura packstone presencia de foraminíferos, fuerte venilleo irregular de bitumen en flujos y débil bioturbación. (Anexo 1: Fotografía 42)	Caliza margosa textura wackestone, con matriz de componente terrígeno y bitumen, fragmentos de conchas rotos de ostrácodos-os (a, e), presencia de foraminíferos del tipo Perouvianella peruviana-per (b,c) y además esporádicos miliólidos-mil (d). Microvenillas de calcita. (Anexo 1: Fotografía 43)
13.SD636490: G29-a	Caliza limpia gris clara, textura grapestone de grano muy fino, con matriz bioclástica de fósiles no reconocidos en macro, presencia de estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 44)	Caliza esparítica bioclástica, textura grapestone de grano muy fino, bioclastos redondeados micritizados de abundantes peloides y ooides-oo de estructura concéntrica con núcleos bioclásticos, posibles intraclastos-int (c), foraminíferos en corte longitudinal que pasa por dos cámaras, posiblemente Climacammina-clm (c,d) presencia de venillas y estilolitos de bitumen. (Anexo 1: Fotografía 45)
14.SD636490: G29-b	Caliza limpia gris clara, textura grapestone de grano muy fino, con matriz bioclástica de fósiles no reconocidos en macro. (Anexo 1: Fotografía 46)	Caliza esparítica bioclástica, textura grapestone de grano fino, bioclastos redondeados micritizados de abundantes peloides, posibles foraminíferos miliólidos como *Pseudopeneroplis Oyonensis-oyo* (c) y del tipo *Perouvianella peruviana-*

		per *(b)* , presencia de microvenillas de calcite. (Anexo 1: Fotografía 47)
15.SD636490: G29-c	Caliza limpia gris clara a blanquecina, grano muy fino, textura grainstone, presencia de estilolitos de bitumen, posiblemente caliza recristalizada. (Anexo 1: Fotografía 48)	Caliza esparítica limpia, textura grainstone, grano muy fino, presencia de posibles bioclastos de fósiles convertidos en pellets, aparentemente recristalizados y sin detalle en estructura interna de cada bioclasto, otros esporádicos fósiles de foraminífera del tipo miliolidae-mil con trazas de bitumen en estilolitos y esporádicas venillas de calcita. (Anexo 1: Fotografía 49)
16.SD636493: G30	Caliza bituminosa gris clara con abundante bitumen intersticial entre los bioclastos, grano muy fino, textura grainstone. (Anexo 1: Fotografía 50)	Caliza micrítica con componente terrígeno, textura grainstone, bituminosa por reemplazamiento de la estructura de los fósiles presentes con materia orgánica (?), los cuales son principalmente foraminíferos de tipo *Peruvianella Peruviana-pe, miliolidae-mil,* esporádicos *briozoos-bry,* escasas espinas-sp y fragmentos de equinodermos-eq y fragmentos de bivalvos. (Anexo 1: Fotografía 51)
17.SD636494: G32	Caliza micrítica margosa gris oscura de textura mudstone a wackestone con moderada bioturbación esporádicos fósiles de bivalvos. (Anexo 1: Fotografía 52)	Caliza micrítica margosa de textura mudstone con moderada bioturbación (manchas de carbonato margoso más claro por partes) esporádicos fósiles de ostrácodos en medio de una matriz margosa. Por partes se evidencia microvenillas de bitumen. (Anexo 1: Fotografía 53)

18.SD636495: G33	Caliza esparítica gris clara de textura grainstone, grano muy grueso, presencia de foraminíferos largos principalmente, trazas de bitumen en microvenillas. (Anexo 1: Fotografía 54)	Caliza esparítica gris clara de textura grainstone, grano muy grueso, presencia de posibles bioclastos de fósiles convertidos en pellets, aparentemente recristalizados y sin detalle en estructura interna de cada bioclasto, trazas de bitumen en estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 55)

C. Formación Jumasha Superior-Nivel Beta

En el yacimiento de Yumpag, el Nivel Beta es uno de los niveles más importantes ya que alberga el mineral en la Estructura Camila principalmente, mientras que para la Estructura Tomasa es un poco más interdigitado, por lo que es importante analizar as facies que contienen el mineral y también aquellas que funcionan como sellos del escape de fluidos hidrotermales.

Las muestras representan diferentes facies dentro de un sistema de plataforma marina somera del Cretácico, con variaciones en la energía deposicional, biodiversidad y procesos diagenéticos. Se observa una transición desde ambientes más restringidos, caracterizados por margosidad y baja diversidad (B3), hacia condiciones más abiertas y energéticas con mayor diversidad fósil (B4-B8). La presencia recurrente de estilolitos y bitumen sugiere una historia diagenética compartida dentro de este sistema sedimentario. La correspondencia es al igual que las últimas facies del Nivel Margoso a una zona de transición.

La fauna fósil identificada incluye foraminíferos (Perouvianella peruviana, Rotorbinella mesogeensis, Climacammina), equinodermos (Diadema y fragmentos de esqueleto), ostrácodos, bivalvos y posibles algas verdes calcáreas (Dasyclads, Sycidium), típicas de plataformas tropicales o subtropicales del Cretácico. Las muestras B1, B4, B8a y B8b muestran mayor diversidad fósil, reflejando condiciones más abiertas y oxigenadas,

mientras que B3 exhibe fauna limitada, probablemente asociada a un ambiente más restringido por su margosidad.

Las texturas mudstone y wackestone, presentes en B1, B3 y B8b, sugieren ambientes de baja energía y mayor restricción. Por otro lado, las texturas packstone en B4 y B8a indican episodios de mayor energía en sectores menos protegidos. Todas las muestras pertenecen a la misma secuencia estratigráfica, pero reflejan variaciones locales en energía y biodiversidad. B1 y B8b comparten similitudes en equinodermos y foraminíferos, mientras que B3 y B4 contienen fósiles comunes, aunque B4 presenta mayor diversidad, marcando una transición hacia condiciones más abiertas. B8a sobresale por su contenido de Dasyclads y textura packstone, indicando un ambiente dinámico y mejor oxigenado.

Figura 52

Ubicación de las secciones delgadas para el Horizonte Beta. Columna Sedimentaria del sondaje YUM21-225. (Ver columna estratigráfica completa ANEXO 10).

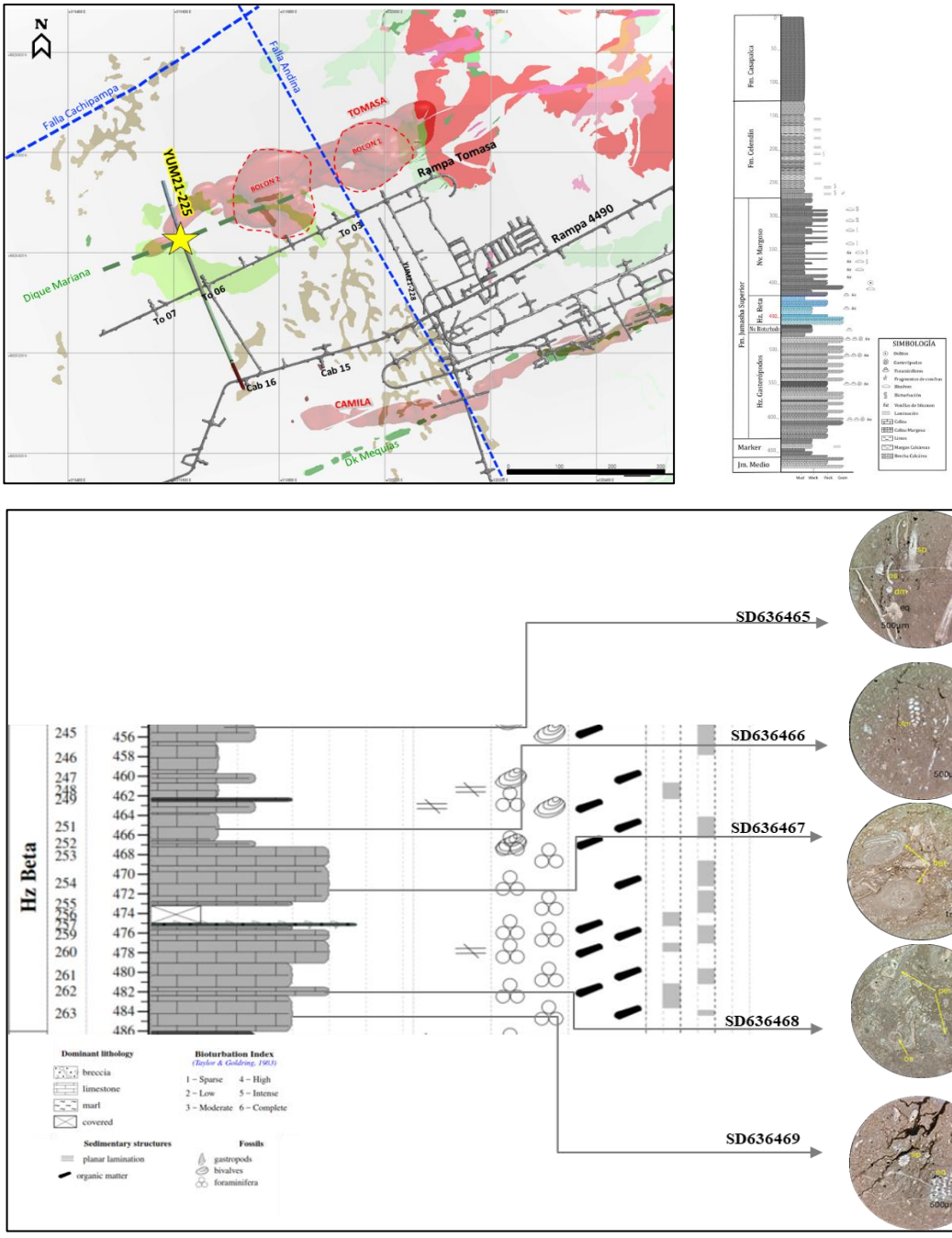


Tabla 9

Descripción macroscópica y microscópica de formación Jumasha Superior-Nivel Beta

	Descripción macroscópica	Descripción microscópica
1. SD636465: B1	Caliza gris, textura wackestone, moderado venilleo polidireccional de bitumen, débilmente bioturbada. (Hz bioturbado). (Anexo 1: Fotografía 56)	Caliza micrítica bioclástica, textura wackestone con fósiles principalmente de equinodermos, nótese secciones longitudinales de espinas de equinodermos con el área de fijación bulbosa en un extremo y la espina alargada, acanalada y terminada-sp(a,c,e), así como secciones transversales de las espinas que corresponderían a los equinodermos del tipo Diadema -dm (c,e,f) también fragmentos de equinodermos -eq(b,d,e,f), algunos fragmentos de ostrácodos (os), presencia de fragmentos de Rotorbinella mesogeensis-rm (a), Climacammina- clm (b) y estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 57)
2. SD636466: B3	Caliza gris, textura mudstone limpia, con venilleo polidirecional de bitumen. (Anexo 1: Fotografía 58)	Caliza micrítica margosa bioclástica, textura mudstone a wackestone con esporádicos fósiles de foraminíferos como la Rotorbinella mesogeensis- rt (a,b), Bulbobuccicrenata-bbc (c) y la Climacammina- clm (d), además de algunas carofitas -car (parte inferior a), fragmentos de equinodermos-eq (a,b,c), fragmentos de conchas y esporádicos estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 59)

3. SD636467: B4	Calizas grises, textura wackestone a packstone, foraminíferos cortos principalmente y fragmentos de conchas de bivalvos. Débil venilleo de bitumen en estilolitos, matriz micrítica. (Anexo 1: Fotografía 60)	Caliza de textura packstone con fósiles de foraminíferos del tipo Perouvianella peruviana-per (Steinmann)(c,d,g) , Heterostegina-het en sección transversal (e) y Rotorbinella mesogeensis-rt en sección oblicua con su concha involuta (h) , presencia de posibles algas verdes del tipo carofitas Sycidium-syc (c,f) con fragmentos de bivalvos-biv (f) y cianobacterias Fontofilia furculata- fon (b). Venillas de calcita y presencia de estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 61)
4. SD636468: B8a	Caliza gris, textura packstone de grano fino con débil microvenilleo polidireccional de bitumen en estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 62)	Caliza micrítica de textura wackestone con fragmentos de conchas de bivalvos o posibles briozoos, presencia de fragmentos de foraminíferos del tipo Perouvianella peruviana-per (d,e), presencia de posibles algas verdes como Dasyclads-das (a,b) en su eje principal y sus verticilos de ramas laterales, ostrácodos-os (c,d,e) y fragmentos de bivalvos-biv (c,d,e). Venilleo en estilolitos de bitumen. (Anexo 1: Fotografía 63)
5. SD636469: B8b	Caliza gris, textura mudstone a wackestone, débil a moderado venilleo de bitumen en estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 64)	Caliza micrítica bioclástica, textura wackestone con fósiles de foraminíferos de peruvianella peruviana-per (a, c, e), secciones transversales de espinas de equinodermos del tipo Diadema-dm

	(a,d,e) también fragmentos de equinodermos -eq(d), algunos fragmentos de ostrácodos-os (a) y otros fragmentos de conchas probablemente bivalvos, presencia estilolitos y microvenillas de calcita. (Anexo 1: Fotografía 65)

D. Formación Jumasha Superior-Nivel Margoso

Tomando en cuenta que este nivel funciona como un gran sello de la mineralización presente en el Jumasha Superior, es importante definir el tipo de facies que son contenidas en este miembro de la Formación Jumasha. Como su propio nombre lo dice son facies margosas, contenido siliciclástico.

Las muestras MG1 a MG7 reflejan un ambiente deposicional de plataforma marina somera, con variaciones en energía y biodiversidad. La mayoría presenta texturas mudstone a wackestone, asociadas a ambientes de baja energía y sectores protegidos de la plataforma, llamada lagoon, que está protegida por bancos de margen de la plataforma. Suficientemente conectada con el mar abierto para mantener salinidad y temperatura cercanas a las del océano adyacente, mientras que las texturas packstone de MG6 y MG7 indican episodios de mayor energía, posiblemente vinculados a cambios en el sistema.

Los fósiles más comunes son bivalvos y ostrácodos, característicos de ambientes someros y protegidos, mientras que los equinodermos y las algas verdes calcáreas (Boueina, Epimastopora y Terquemella) sugieren condiciones tropicales o subtropicales con buena iluminación. MG6 y MG7 destacan por su mayor diversidad fósil, lo que podría reflejar una mayor conectividad marina o condiciones más estables, posiblemente la transición hacia zonas de barrera mareal o por encima de la base de olas de buen tiempo, en contraste con MG1, MG2 y MG3, que tienen un carácter más margoso y restringido.

En conjunto, las muestras evidencian una evolución desde ambientes restringidos hacia condiciones más abiertas, propias de plataformas carbonatadas del Cretácico Superior, influenciadas por fluctuaciones en salinidad y oxigenación.

Figura 53

Ubicación de las secciones delgadas para el Nivel Margoso. Columna Sedimentaria del sondaje YUM22-229. (Ver columna estratigráfica completa ANEXO 14)

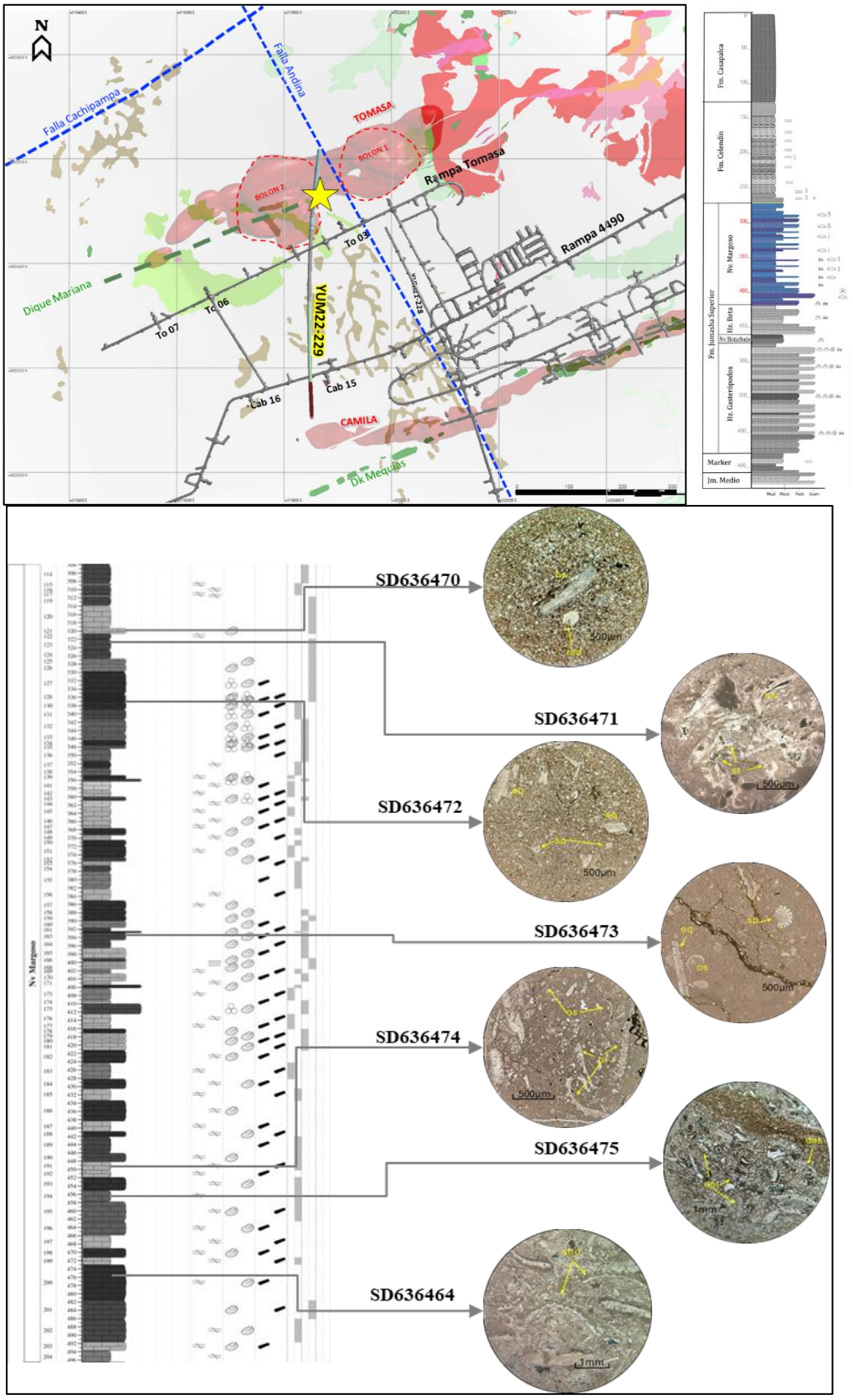


Tabla 10

Descripción macroscópica y microscópica de formación Superior-Nivel Margoso

	Descripción macroscópica	Descripción microscópica
1. SD636470: MG1	Calizas margosas gris oscura, textura mudstone con esporádicos bioclastos (conchas delgadas de bivalvos). (Anexo 1: Fotografía 66)	Caliza margosa textura mudstone, con matriz de componente terrígeno, fragmentos de conchas rotos de bivalvos-biv (c), ostrácodos-os (b) y fragmentos de radiolarios-rad (c). (Anexo 1: Fotografía 67)
2. SD636471: MG2	Calizas grises con niveles sucios de calizas margosas gris oscuro, bioturbado, textura mudstone con tramos menores wackestone. (Anexo 1: Fotografía 68)	Caliza micrítica bioclástica de grano fino de tono claro (a,b,e) con presencia de ostrácodos-os (a,b,e), fragmentos de conchas de bivalvos-biv (b,c,d), algas verdes del tipo Boueina-bou (a), fragmentos de Stromatoporoidea-st (d). (Anexo 1: Fotografía 69)
3. SD636472: MG3	Caliza margosa fuertemente bioturbada, gris oscura a negra, textura wackestone (bivalvos y foraminiferos), trazas de venilleo de bit. (Anexo 1: Fotografía 70)	Caliza margosa bioclástica de grano fino con componente terrígeno, textura mudstone a wackestone con presencia de ostrácodos-os (c,d), fragmentos de conchas de bivalvos-biv (b), y fragmentos de equinodermos-eq (a,c) y esporádicas espinas de los mismos-sp (a). (Anexo 1: Fotografía 71)
4. SD636473: MG4	Caliza gris a gris clara textura mudstone con esporádicos bioclastos y presencia de estilolitos de bitumen. (Anexo 1: Fotografía 72)	Caliza micrítica bioclástica, textura mudstone a wackestone con fragmentos de fósiles de equinodermos-eq, espículas de equinodermos-sp, fragmentos de ostrácodos-os. Esporádicos

		estilolitos de bitumen. (Anexo 1: Fotografía 73)
5. SD636474: MG5	Caliza gris a gris clara, textura mudstone a wackestone, con presencia de esporádicos fragmentos de conchas de bivalvos y otros bioclastos largos. (Anexo 1: Fotografía 74)	Caliza micrítica bioclástica de textura wackestone, presencia de braquiópodos con crestas elevadas-br, fragmentos de ostrácodos-os, espinas de equinodermos-sp y fragmentos de equinodermos-eq, bivalvos-biv, foraminíferos en corte longitudinal que pasa por dos cámaras, posiblemente Climacammina-cli. Presencia de estilolitos. (Anexo 1: Fotografía 75
6. SD636475: MG6	Caliza gris a gris oscura, margosa, de textura packstone, tramos débilmente bioturbados y con venilleo irregular de bitumen. (Anexo 1: Fotografía 76)	Caliza micrítica bioclástica de textura wackestone, presencia de algas verdes de la familia Dasycladales-das en sección transversal y dentro de estas el género Epimastopora-epi y la Terquemella-trq, también tenemos la familia de las Udoteacens-udo, briozoos-bry Fontofilia furculata-fon, algas verdes calcáreas como la Boueina-bou, braquiópodos-bra, bivalvos-biv, fragmentos de equinodermos-eq y espinas en corte transversales -sp. (Anexo 1: Fotografía 77)
7. SD636464: MG7	Caliza gris con moderado a fuerte venilleo de bitumen. Textura packstone con foraminíferos y conchas	Caliza micrítica de textura packstone con conchas de braquiópodos, conchas de braquiópodos strofomenida-stro(a,b), foraminíferos en corte longitudinal

	delgadas de bivalvos. (Anexo 1: Fotografía 78)	que pasa por dos cámaras, posiblemente Climacammina-clm (d), espinas-sp y fragmentos de equinodermos-eq (b,d,f), fragmentos de bivalvos-biv de concha gruesa (c) con ostrácodos-os (c) y algas verdes calcáreas , tallos rotos de Boueina-bou (d,e). (Anexo 1: Fotografía 79)

E. Formación Celendín

Se llevó a cabo un análisis microscópico representativo de dos muestras de calizas de este miembro, con el objetivo de establecer una diferenciación general respecto a las facies de otros miembros de interés dentro de la Formación Jumasha Superior.

Ambas muestras analizadas corresponden a calizas margosas con escasa diversidad fosilífera, destacándose principalmente por su composición margosa, lo que indica su formación en un ambiente de plataforma interior moderadamente restringida. Sin embargo, las características iniciales de las facies, junto con la presencia continua de margas, sugieren que este entorno corresponde a una plataforma interior con influencia árida-evaporítica. Este escenario se refuerza por la presencia, en ciertos niveles, de estromatolitos y laminaciones de yeso, evidencias claras de un ambiente supramareal.

En este contexto, se interpreta que la formación representa una transición dentro de la plataforma interior, con una conectividad limitada al océano abierto. Esta restricción habría provocado importantes variaciones en la salinidad y la temperatura, características de un ambiente árido. A medida que las condiciones evolucionaron hacia episodios intermitentes de flujo de aguas marinas normales, combinadas con un clima árido, se dio lugar a la deposición de yeso, anhidrita o incluso halita, junto con carbonatos. En conjunto, estas características reflejan un ambiente predominantemente supramareal, sujeto a procesos sedimentarios asociados a plataformas evaporíticas.

Figura 54

Ubicación de las secciones delgadas para la Formación Celendín. Columna Sedimentaria del sondaje YUM22-230. (Ver columna estratigráfica completa ANEXO 15).

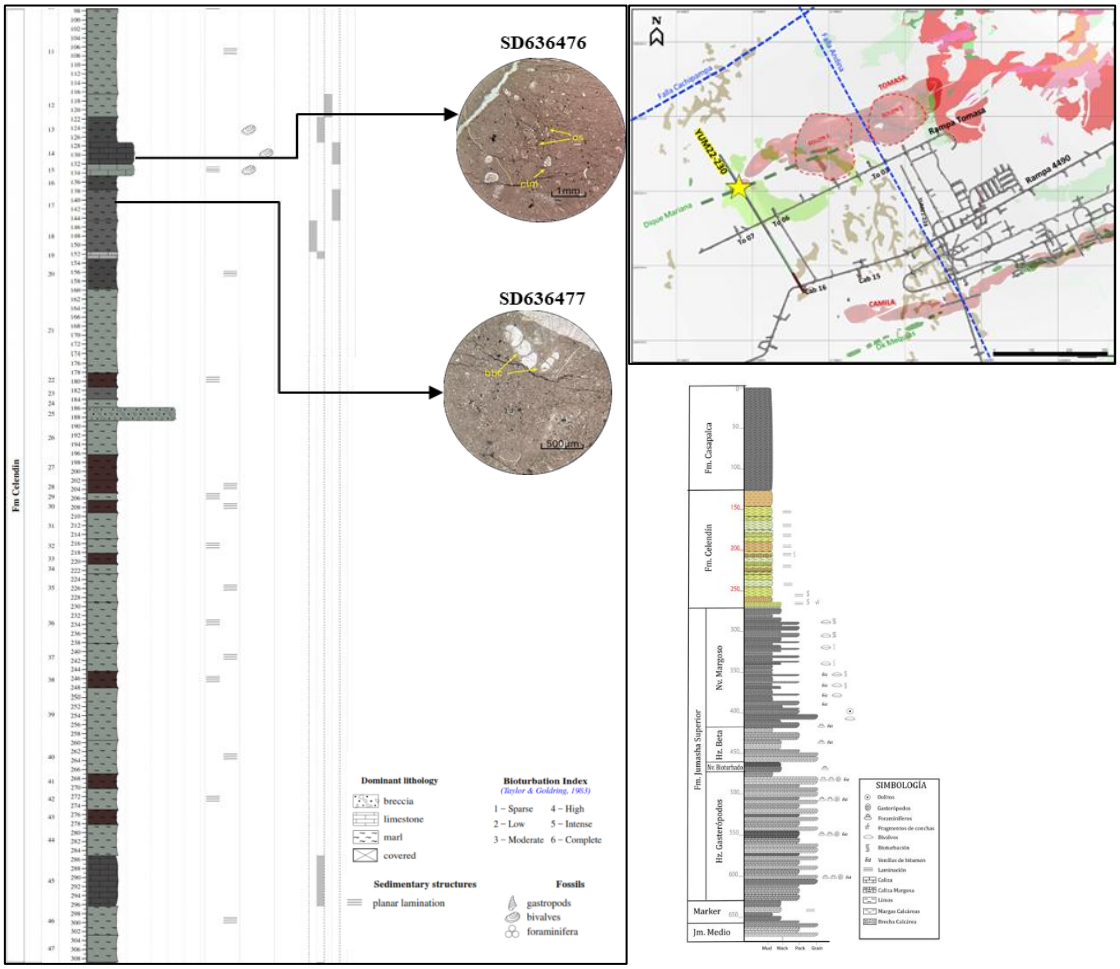


Tabla 11

Descripción macroscópica y microscópica de formación Celendín

	Descripción macroscópica	Descripción microscópica
1. SD636476	Caliza margosa gris oscuro bioturbada de textura wackestone con fragmentos de conchas delgadas, débil venilleo irregular de bitumen y calcita. (Anexo 1: Fotografía 80)	Caliza micrítica margosa de textura mudstone a wackestone, presencia de foraminíferos de Climacammina-clm, algunos fragmentos de equinodermos-eq y ostracodos-os. (Anexo 1: Fotografía 81)
2. SD636477	Margas grises oscuro bioturbada, tramos con débil	Caliza micrítica margosa de textura mudstone con esporádicos fósiles de

	venilleo irregular de bitumen, presencia de microvenillas de calcita. (Anexo 1: Fotografía 82)	foraminíferos como Bulbobuccicrenata-bbc (c), fragmentos de equinodermos-eq y fragmentos de ostrácodos-os. Microvenilleo de bitumen abundante en matriz. (Anexo 1: Fotografía 83)

6.3 Horizontes Favorables según Modelo de Facies Carbonatas

Integrando la descripción de las facies sedimentarias a nivel macroscópico con el análisis microscópico, se logra una caracterización más precisa y detallada de cada facies. Este enfoque permite correlacionarlas con las Microfacies Estándar "SMF" Wilson (1975) y Flügel (1972), aplicar esta información al Modelo Conceptual de 10 Zonas de Facies "FZ" de Wilson (1975), de esta manera, se facilita la interpretación y delimitación de la distribución espacial de los distintos horizontes sedimentarios (véase pag.52-58).

6.3.1 Zonas de Facies y Configuración espacial de Horizonte Gaterópodos

Las microfacies descritas sugieren un entorno marino somero, dominado por procesos sedimentarios de plataformas carbonatadas. La presencia de foraminíferos bentónicos, ostrácodos, gasterópodos, briozoos y equinodermos es indicativa de una plataforma cálida y tropical, típica de ambientes de aguas poco profundas, posiblemente relacionadas con una laguna interna, llanuras mareales y/o entornos arrecifales. La diversidad de texturas (mudstone, wackestone, packstone, grainstone y grapestone) y componentes orgánicos (fósiles, pellets, ooides, intraclastos) sugiere una alta variabilidad en energía y condiciones de sedimentación. La presencia de bitumen sugiere procesos de preservación orgánica en ambientes disóxicos, probablemente restringidos. Los pellets y ooides reflejan actividad bioquímica y sedimentación en aguas someras y agitadas. Las variaciones en la micritización y los estilolitos indican compactación, diagénesis y subsidencia. Cada microfacies aporta información clave sobre las condiciones paleoambientales. (Vea Tabla 12)

Tabla 12

Clasificación de Zonas de Facies en Plataformas Carbonadas para el Horizonte Gasterópodos-Jumasha Superior por análisis de microfacies, basado en clasificación de Wilson (1975) y Flügel (1972).

Código de facie	SD	MICROFACIES (SD)	INDICADORES PALEOAMBIENTALES	SMF	FZ	
G1	SD636478	Caliza micrítica bioclástica de textura packstone, compuesta por foraminíferos como Peruvianella peruviana y pequeños ejemplares de Climacammina. También contiene restos de equinodermos y ostrácodos, junto con flujos margosos delimitados por venillas bituminosas que incluyen fragmentos fósiles y pellets dispersos.	La textura packstone, junto con los foraminíferos y ostrácodos, sugiere un ambiente de energía moderada, posiblemente en una laguna somera protegida o en las proximidades de un arrecife.	SMF 16	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta
G3	SD636479	Caliza bioclástica limpia de textura grainstone a grapestone, constituida predominantemente por foraminíferos del tipo Peruvianella peruviana.	La textura grainstone/grapestone y la limpieza de la caliza apuntan a un ambiente de alta energía, como barras arenosas o canales dentro de una plataforma carbonatada.	SMF 11	FZ-6	Barrera de alta energía
G5	SD636480	Caliza bioclástica esparítica de textura grainstone, rica en foraminíferos como Peruvianella peruviana en cortes oblicuos, ecuatoriales y transversales, además de foraminíferos del tipo Miliolidae y algunos ejemplares de Bulbobuccicrenata. Se observan fragmentos de bioclastos de ostrácodos o bivalvos y pellets dispersos.	Los granos esparíticos indican procesos de cementación y diagénesis en un ambiente de alta energía, probablemente arrecifal o de canal.	SMF-7	FZ-5	Arrecifes en el Margen de la Plataforma
G8	SD636481	Caliza margosa de textura mudstone a wackestone, con evidencia de bioturbación moderada. Contiene fósiles micritizados de Peruvianella peruviana (Steinmann).	La textura mudstone a wackestone y la bioturbación moderada indican un ambiente de baja energía, como fondos lagunares protegidos.	SMF-9	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta

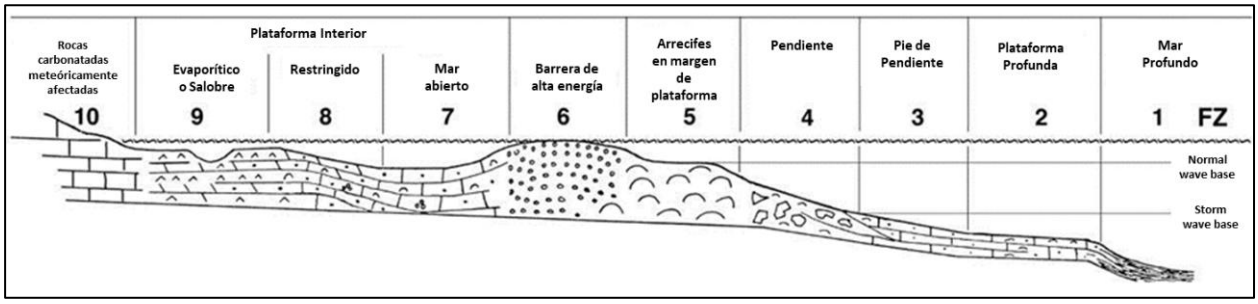
G9	SD636482	Caliza grainstone con fósiles macroscópicos de gasterópodos. Los bioclastos de gasterópodos, de conchas gruesas reemplazadas por calcita, están asociados con peloides micritizados. También se identifican foraminíferos miliólidos y Peruvianella peruviana (Steinmann).	Los fósiles macroscópicos de gasterópodos y la textura grainstone sugieren un ambiente de alta energía, como barras someras o arrecifes marginales.	SMF-15	FZ-6	Barrera de alta energía
G10	SD636483	Caliza limpia de textura grapestone, dominada por foraminíferos de la especie Peruvianella peruviana (Steinmann).	Esta microfacies indica un ambiente de alta energía, probablemente en un entorno somero con flujos activos	SMF-13	FZ-6	Barrera de alta energía
G11	SD636484	Caliza grainstone de grano medio, con matriz y bioclastos fuertemente micritizados. Predominan los foraminíferos del tipo Peruvianella peruviana, acompañados de oolitos, esporádicos caparazones de gasterópodos y fragmentos de briozoos rotos.	La mezcla de bioclastos y oolitos señala un ambiente de alta energía, probablemente una barra arenosa o un canal en una plataforma somera.	SMF-15	FZ-6	Barrera de alta energía
G15	SD636485	Caliza de textura packstone a grainstone, de grano fino a muy fino. Presenta abundantes fantasmas de fósiles micritizados, posiblemente foraminíferos, rodeados de materia orgánica o estilolitos. Se observan fragmentos de conchas y foraminíferos miliólidos.	La variabilidad en la textura sugiere cambios en la energía del ambiente, posiblemente relacionado con un entorno intermareal o de canal.	SMF-22	FZ-8	Plataforma Interior Restringida
G17	SD636486	Caliza pelesparítica de textura grapestone, de grano fino. Muestra una apariencia de mudstone en observaciones macroscócipas, con peloides redondeados micritizados y microvenillas de bitumen asociadas a estilolitos.	Los peloides indican procesos de micritización en un ambiente protegido, posiblemente en una laguna o llanura mareal interna.	SMF-17	FZ-8	Plataforma Interior Restringida
G18	SD636487	Caliza micrítica de textura mudstone, con fantasmas de fósiles que generan zonas blanqueadas en la matriz. Contiene calcita diseminada en granos irregulares y estilolitos que indican flujos de carbonato.	Un ambiente de baja energía con posible compactación y diagénesis, relacionado con áreas más profundas o protegidas de la plataforma.	SMF-9	FZ-8	Plataforma Interior Restringida

G19	SD636488	Caliza micrítica bioclástica de textura grainstone a grapestone, de grano fino. Presenta abundantes peloides, foraminíferos miliólidos y esporádicos ejemplares de Climacammina.	Ambientes someros de alta energía, con flujos moderados o turbulentos.	SMF-15	FZ-6	Barrera de alta energía
G22	SD636489	Caliza gris oscura, bituminosa y margosa, de textura wackestone. Contiene fragmentos de conchas rotas de ostrácodos, foraminíferos del tipo Peruvianella peruviana y esporádicos miliólidos.	La textura wackestone y el bitumen apuntan a un ambiente anóxico o disóxico, posiblemente una laguna restringida.	SMF-19	FZ-8	Plataforma Interior Restringida
G29	SD636490 SD636491 SD636492	Caliza esparítica bioclástica de textura grapestone, de grano muy fino. Destaca la presencia de peloides, ooides con estructura concéntrica y núcleos bioclásticos, posibles intraclastos, y escasos foraminíferos como Climacammina, Miliolidae (Pseudopeneroplis oyonensis) y Peruvianella peruviana.	Ambientes de alta energía con fuerte circulación, como barras o arrecifes.	SMF-14	FZ-5	Arrecifes en el Margen de la Plataforma
G30	SD636493	Caliza de textura grainstone, con restos fósiles reemplazados por materia orgánica que aporta un carácter bituminoso. Contiene foraminíferos del tipo Peruvianella peruviana, Miliolidae, esporádicos fragmentos de briozoos, espinas de equinodermos y restos de bivalvos.	Un ambiente de alta energía, con posibles flujos turbulentos asociados a canales o barras someras.	SMF-15	FZ-6	Barrera de alta energía
G31	SD636494	Caliza micrítica margosa de textura mudstone, con bioturbación moderada. Muestra manchas claras de carbonato margoso y esporádicos fósiles de ostrácodos.	Ambiente de baja energía, probablemente lagunar o submareal protegido.	SMF-19	FZ-8	Plataforma Interior Restringida
G33	SD636495	Caliza esparítica bioclástica de textura grainstone, de grano muy grueso. Se reconocen posibles bioclastos fósiles transformados en pellets.	Ambientes de alta energía y posible diagénesis secundaria.	SMF-13	FZ-6	Barrera de alta energía

De manera análoga, es factible categorizar las descripciones macroscópicas empleadas en la diferenciación de facies (5.1) y establecer correlaciones con las microfacies analizadas. Este enfoque integrador permite desarrollar un estudio exhaustivo que abarca la configuración espacial, la biota, las litofacies y las zonas prospectivas de cada horizonte favorable identificado. Como resultado, se obtiene una representación más precisa y veraz del ambiente sedimentario en el cual se encuentra emplazada la mineralización de Yumpag.

Figura 55

Zonas de Facies Estándar del modelo de Wilson (1975) modificado



Nota. Modificado de Wilson (1975)

Según la figura presentada, la mayor parte de las facies hospedantes de mineralización se ubican en la FZ-6, correspondiente a "barras de alta energía", situadas por encima de la base de acción de las olas en condiciones de buen tiempo y dentro de la zona eufótica, influenciadas por corrientes de marea. También se identifican facies favorables en la FZ-5, asociadas a "arrecifes en el margen de plataforma", que incluyen rampas o arrecifes barrera resistentes a las olas, con profundidades que varían desde pocos hasta cientos de metros. En contraste, las facies no favorables predominan en las FZ-7 y FZ-8, vinculadas a la "plataforma interior-lagoon", caracterizada como una zona de baja energía protegida por barreras naturales.

Tabla 13

Clasificación General de Zonas de Facies en Plataformas Carbonadas para el Horizonte Gasterópodos-Jumasha Superior por análisis de las 33 facies sedimentarias

	INTERÉS ECONÓMICO	ESPESOR	COD	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA	Zonas de Facies		MICROFACIES (SD)
HORIZONTE GASTERÓPODOS	**Mineral**	**5.22**	**G1**	Caliza limpia, gris clara blanquecina, textura granodecreciente de grainstone de grano fino a wackestone, con venilleo de bitumen	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	Caliza micrítica bioclástica de textura packstone, con foraminíferos como Peruvianella peruviana y pequeños Climacammina. También contiene restos de equinodermos y ostrácodos, junto con flujos margosos delimitados por venillas bituminosas que incluyen fragmentos fósiles y pellets dispersos.
	Trampa	**1.74**	**G2**	Caliza gris clara a gris, mudstone a packstone, moderadamente bioturbada, presencia de flujos de bitumen.	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	-
	Mineral	**10.89**	**G3**	Caliza limpia gris clara, textura granodecreciente de grainstone con tramos grapestone hasta wackestone, presencia foraminíferos cortos, oolitos y foraminíferos largos hacia el final.	**FZ-6**	Barrera de alta energía	Caliza bioclástica limpia de textura grainstone a grapestone, constituida predominantemente por foraminíferos del tipo Peruvianella peruviana.
	Trampa	**1.27**	**G4**	Caliza gris, wackestone con tramos grainstone, bioturbada, con bitumen en flujos, presencia foraminíferos ovoides y largos.	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	-
	Posible Mineral	**3.28**	**G5**	Caliza limpia, gris clara, packstone a grainstone, abundantes foraminíferos ovoides intercalados en niveles con peruvianellas peruviannas.	**FZ-5**	Arrecifes en el Margen de la Plataforma	Caliza bioclástica esparítica de textura grainstone, rica en foraminíferos como Peruvianella peruviannaas, además de foraminíferos del tipo Miliolidae y algunos ejemplares de Bulbobuccicrenata. Se observan fragmentos de bioclastos de ostrácodos o bivalvos y pellets.
	Marcador/laminaciones	**0.97**	**G6**	Nivel laminar, mudstone gris a gris oscuro, intercalaciones de calizas limpias y calizas margosas, bitumen en sentido de laminación, débil bioturbación.	**FZ-8**	Plataforma Interior Restringida	-
	Mineral/laminaciones	**2.63**	**G7**	Caliza limpia, gris clara, grainstone de grano medio a grueso, abundantes foraminíferos y gasterópodos, bitumen en flujos por tramos, tramo laminar por estilolitos abundantes de bitumen.	**FZ-6**	Barrera de alta energía	-

	Trampa	**1.49**	**G8**	Calizas gris oscura margosa, textura wackestone a packstone, bituminosa por flujos, abundantes fósiles de foraminíferos ovoides, débil bioturbación.	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	Caliza margosa de textura mudstone a wackestone, con evidencia de bioturbación moderada. Contiene fósiles micritizados de Peruvianella peruviana (Steinmann).
	Mineral	**18.28**	**G9**	Calizas grises claras, grainstone de grano fino a medio, abundantes foraminíferos ovoides, esporádicos foraminíferos Peruvianella y escasos gasterópodos.	**FZ-6**	Barrera de alta energía	Caliza grainstone con fósiles macroscópicos de gasterópodos. Los bioclastos de gasterópodos, de conchas gruesas reemplazadas por calcita, están asociados con peloides micritizados. También se identifican foraminíferos miliólidos y Peruvianella peruviana (Steinmann).
	Posible Mineral	**2.47**	**G10**	Calizas gris claras limpias blanquecinas, grainstone de grano medio intercalado con niveles cortos mudstone, abundantes foraminíferos ovoides	**FZ-6**	Barrera de alta energía	Caliza limpia de textura grapestone, dominada por foraminíferos de la especie Peruvianella peruviana (Steinmann).
	Mineral	**8.34**	**G11**	Caliza limpia gris clara, textura packstone a grapestone, presencia foraminíferos ovoides y oolitos, niveles con presencia de gasterópodos.	**FZ-6**	Barrera de alta energía	Caliza grainstone de grano medio, con matriz y bioclastos fuertemente micritizados. Predominan los foraminíferos del tipo Peruvianella peruviana, acompañados de oolitos, esporádicos caparazones de gasterópodos y fragmentos de briozoos rotos.
	Trampa/marcador	**1.17**	**G12**	Caliza gris a gris oscura, wackestone, bioturbada , presencia de foraminíferos y gasterópodos, venilleo irregular de bitumen laminar.	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	-
	Mineral	**6.43**	**G13**	Calizas gris claras a grises packstone y wackestone (foraminíferos y tramos con presencia de gasterópodos).	**FZ-6**	Barrera de alta energía	-
	Trampa	**2.24**	**G14**	Caliza gris oscura bituminosa, bioturbada, packstone a grainstone, bitumen en flujos, presencia de foraminíferos y escasos gasterópodos.	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	-
	Mineral	**2.54**	**G15**	Calizas limpias, gris claras, textura wackestone a packstone, abundantes foraminíferos, trazas de estilolitos.	**FZ-8**	Plataforma Interior Restringida	Caliza de textura packstone a grainstone, de grano fino a muy fino. Presenta abundantes fantasmas de fósiles micritizados, posiblemente foraminíferos, rodeados de materia orgánica o estilolitos. Se observan fragmentos de conchas y foraminíferos miliólidos.
	Trampa	**3.50**	**G16**	Calizas grises oscuras a negras, packstone a grainstone, bituminosa por abundantes flujos, fósiles de foraminíferos ovoides, bivalvos y puntuales gasterópodos.	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	-

Mineral	**5.34**	**G17**	Caliza limpia, gris clara, wackestone con tramos mudstone, presencia de gasterópodos y foraminíferos.	**FZ-8**	Plataforma Interior Restringida	Caliza pelesparítica de textura grapestone, de grano fino. Muestra una apariencia de mudstone en observaciones macroscópicas, con peloides redondeados micritizados y microvenillas de bitumen asociadas a estilolitos.
Trampa	**10.59**	**G18**	Calizas bituminosas gris oscuras o bioturbadas, wackestone a packstone, con foraminíferos y oolitos en la matriz, moderados flujos de bitumen.	**FZ-8**	Plataforma Interior Restringida	Caliza micrítica de textura mudstone, con fantasmas de fósiles que generan zonas blanqueadas en la matriz. Contiene calcita diseminada en granos irregulares y estilolitos que indican flujos de carbonato.
Mineral	**13.31**	**G19**	Calizas limpias, claras, de texturas wackestone a grainstone de grano grueso, con fósiles de foraminíferos largos peruvianella peruviana y ovoides.	**FZ-6**	Barrera de alta energía	Caliza micrítica bioclástica de textura grainstone a grapestone, de grano fino. Presenta abundantes peloides, foraminíferos miliólidos y esporádicos ejemplares de Climacammina.
Trampa	**3.82**	**G20**	Caliza gris oscura, bituminosa, packstone a grainstone, presencia foraminíferos ovoides y oolitos, flujos de bitumen y débil bioturbación por tramos.	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	-
Marcador/Posible Mineral	**5.35**	**G21**	Calizas limpias gris clara blanquecina, textura wackestone a grainstone, abundantes foraminíferos ovoides, trazas de estilolitos.	**FZ-6**	Barrera de alta energía	-
Trampa	**2.20**	**G22**	Caliza gris oscura, granodecreciente de grainstone a mudstone, bituminosas, canales y flujos, foraminíferos cortos principalmente y escasos gasterópodos.	**FZ-8**	Plataforma Interior Restringida	Caliza gris oscura, bituminosa y margosa, de textura wackestone. Contiene fragmentos de conchas rotas de ostrácodos, foraminíferos del tipo Peruvianella peruviana y esporádicos miliólidos.
Trampa	**2.11**	**G23**	Caliza limpia, gris clara, wackestone a packstone, bitumen en flujos cargados de fósiles, abundantes foraminíferos cortos.	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	-
Marcador	**0.97**	**G24**	Caliza bituminosa, gris oscura, mudstone con tramos cortos wackestone, presencia de escasos foraminíferos, bitumen en matriz, laminar	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	-
Trampa	**0.83**	**G25**	Caliza limpia gris clara, textura packstone a grapestone, presencia foraminíferos ovoides y oolitos abundantes, estilolitos esporádicos	**FZ-6**	Barrera de alta energía	-
Marcador/trampa	**0.73**	**G26**	Calizas grises a gris oscuras, mudstone, bioturbadas, margosas con débil venilleo de bitumen.	**FZ-7**	Plataforma Interior-	-

					marina abierta	
Mineral	**9.37**	**G27**	Calizas limpias, gris claras blanquecinas, wackestone a grainstone, abundantes bioclastos en matriz de foraminíferos y gasterópodos.	**FZ-6**	Barrera de alta energía	-
Marcador/trampa	**1.66**	**G28**	Calizas limpias grises, laminares, mudstone a wackestone, bitumen en el sentido de laminación.	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	-
Mineral	**14.98**	**G29**	Caliza limpia gris clara, textura packstone a grapestone, presencia foraminíferos ovoides y oolitos abundantes, tramos con moderado venilleo de bitumen.	**FZ-5**	Arrecifes en el Margen de la Plataforma	Caliza esparítica bioclástica de textura grapestone, de grano muy fino. Destaca la presencia de peloides, ooides con estructura concéntrica y núcleos bioclásticos, posibles intraclastos, y escasos foraminíferos como Climacammina, Miliolidae (Pseudopeneroplis oyonensis) y Peruvianella peruviana.
Trampa	**2.92**	**G30**	Calizas gris oscuras, textura granodecreciente grainstone a wackestone, bituminosas por flujos, bioturbación moderada, bioclastos de foraminíferos.	**FZ-6**	Barrera de alta energía	Caliza de textura grainstone, con restos fósiles reemplazados por materia orgánica que aporta un carácter bituminoso. Contiene foraminíferos del tipo Peruvianella peruviana, Miliolidae, esporádicos fragmentos de briozoos, espinas de equinodermos y restos de bivalvos.
Trampa	**1.65**	**G31**	Caliza gris de packstone, con fuerte bioturbación, presencia de foraminíferos y oolitos, moderado venilleo de bitumen.	**FZ-8**	Plataforma Interior Restringida	Caliza micrítica margosa de textura mudstone, con bioturbación moderada. Muestra manchas claras de carbonato margoso y esporádicos fósiles de ostrácodos.
Trampa	**4.54**	**G32**	Calizas margosas, oscuras, wackestone a packstone, moderada bioturbación, foraminíferos.	**FZ-7**	Plataforma Interior-marina abierta	-
Mineral	**14.98**	**G33**	Calizas limpias gris claras blanquecinas, grainstone a grapestone, grano grueso, foraminíferos largos (peruvianella Peruviana) y cortos.	**FZ-6**	Barrera de alta energía	Caliza esparítica bioclástica de textura grainstone, de grano muy grueso. Se reconocen posibles bioclastos fósiles transformados en pellets.

Nota. Basado en clasificación de Wilson (1975) y Flügel (1972).

6.3.2 Zonas de Facies y configuración espacial de Horizonte Beta

Las microfacies descritas apuntan a un sistema de plataforma carbonatada en aguas someras, cálidas y tropicales, caracterizado por una diversidad faunística y floral asociada a zonas arrecifales, lagunas protegidas y márgenes de plataforma. La presencia predominante de foraminíferos como Rotorbinella mesogeensis, Climacammina, Bulbobuccicrenata, Perouvianella peruviana y Heterostegina indica un ambiente marino somero, relacionado con plataformas carbonatadas cálidas. Estos organismos son característicos de ambientes de baja a media energía, asociados a aguas tropicales o subtropicales, con buena iluminación y temperaturas relativamente constantes.

La identificación de algas verdes, como las carófitas (Sycidium) y los Dasyclads, refuerza esta interpretación, ya que estas son típicas de ambientes fotófilos en aguas poco profundas, con alta disponibilidad de luz solar para realizar la fotosíntesis. Esto sugiere que las condiciones de profundidad no excedían la zona fótica.

La abundancia de fragmentos de equinodermos, especialmente espinas del género Diadema, junto con ostrácodos y conchas de bivalvos, indica condiciones de buena oxigenación y salinidad marina típica. Los equinodermos, en particular, suelen ser sensibles a cambios en la salinidad y oxigenación, lo que sugiere que las condiciones marinas fueron estables durante largos períodos.

La bioturbación moderada observada en algunas microfacies sugiere una actividad bentónica significativa, típica de entornos con una columna de agua relativamente tranquila pero habitada por organismos bentónicos que revolvían el sedimento.

Las texturas mudstone y wackestone, junto con la presencia de algas verdes como las carófitas y fragmentos de conchas micritizados, sugieren episodios de sedimentación en ambientes lagunares o protegidos dentro de la plataforma. Estas áreas habrían estado

resguardadas de corrientes fuertes, permitiendo la acumulación de material micrítico y bioclástico fino.

En resumen, el ambiente paleoambiental correspondería a una plataforma carbonatada tropical o subtropical, con áreas de aguas someras protegidas y sectores más dinámicos asociados a corrientes o márgenes de plataforma, donde la biodiversidad y la actividad biogénica jugaron un papel clave en la formación de los depósitos.

Tabla 14

Clasificación de Zonas de Facies en Plataformas Carbonadas para el Horizonte Beta-Jumasha Superior por análisis de microfacies

Código de facie	SD	MICROFACIES (SD)	INDICADORES PALEOAMBIENTALES	SMF	FZ	
B1	SD636465	Caliza de textura wackestone, caracterizada por la abundancia de restos de equinodermos, incluidas espinas y ejemplares del género Diadema, acompañados de ostrácodos y foraminíferos como Rotorbinella mesogeensis y Climacammina.	Entorno marino asociado a áreas protegidas de la plataforma, como lagunas internas o zonas intermedias entre un sistema arrecifal y un fondo más tranquilo, sugiere un ambiente marino somero de baja a moderada energía.	SMF 8	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta
B3	SD636466	Caliza micrítica de textura limpia, transicionando entre mudstone y wackestone. Contiene foraminíferos como Rotorbinella mesogeensis, Bulbobuccicrenata y Climacammina, además de carofitas, fragmentos de equinodermos y restos de conchas fosilizadas.	Sedimentación en condiciones de baja energía, probablemente en un ambiente lagunar o fondo somero protegido de corrientes fuertes. Ambientes fotófilos con aguas claras y bien iluminadas	SMF 8	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta
B4	SD636467	Tramo limpio de caliza textura packstone, notablemente limpia, con foraminíferos como Perouvianella peruviana, Heterostegina y Rotorbinella mesogeensis. También se identifican posibles algas verdes del género Sycidium (carofitas), fragmentos de bivalvos y cianobacterias Fontofilia furculata.	Ambiente que representa un sistema de margen de plataforma o bancos de arena bioclásticos, donde la energía del medio permitió la acumulación de carbonatos biogénicos en condiciones de salinidad marina y oxigenación adecuada.	SMF-10	FZ-6	Barrera de alta energía
B8	SD636468 SD636469	Caliza micrítica con textura wackestone, donde se reconocen fragmentos de conchas de bivalvos o posibles briozoos, foraminíferos del tipo Perouvianella peruviana, algas verdes Dasyclads, ostrácodos y espinas de equinodermos del género Diadema.	Ambiente de baja a moderada energía, con deposición en un entorno marino somero protegido, posiblemente asociado a áreas de plataforma interna. La micrita sugiere una sedimentación lenta en aguas tranquilas, mientras que la diversidad biológica refleja una comunidad bentónica activa.	SMF 8	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta

Nota. Basado en clasificación de Wilson (1975) y Flügel (1972).

Tras el análisis de microfacies, se llevó a cabo la identificación de zonas asociadas a las macrofacies presentes en el horizonte Beta. Los resultados revelaron, predominantemente, niveles restringidos de plataforma clasificados como FZ-7, correspondientes a ambientes lagunares o eufóticos situados por encima de la base de las olas en condiciones de buen tiempo. Estas áreas se encuentran protegidas por bancos de arena, islas o arrecifes en el margen de la plataforma, pero mantienen una conexión suficiente con el mar abierto para preservar salinidad y temperaturas similares a las del océano adyacente, favoreciendo una circulación moderada, estas características hacen que estos niveles actúen como hospedantes de mineralización; mientras que solo se identificaron tres trampas estratigráficas asociadas. Dichas trampas corresponden, generalmente, a niveles margosos, anóxicos, de tonalidades oscuras y granulometría fina, característicos de las zonas FZ-8 y FZ-7.

Tabla 15

Clasificación General de Zonas de Facies en Plataformas Carbonadas para el Horizonte Beta-Jumasha Superior por análisis de las 04 facies sedimentarias

Unidad	INTERÉS ECONÓMICO	COD	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA	Zonas de Facies		MICROFACIES (SD)
HORIZONTE BETA	Mineral	**5.00**	**B1**	Caliza gris a gris clara, textura wackestone, débilmente bioturbada, con fragmentos de conchas delgadas, débil venilleo de bitumen en flujos.	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta	Caliza de textura wackestone, caracterizada por la abundancia de restos de equinodermos, incluidas espinas y ejemplares del género Diadema, acompañados de ostrácodos y foraminíferos como Rotorbinella mesogeensis y Climacammina.
	Trampa	**3.00**	**B2**	Calizas gris oscuras a negras margosas y bioturbadas de textura wackestone, con fragmentos de conchas y foraminíferos.	FZ-8	Plataforma Interior Restringida	-
	Mineral	**3.00**	**B3**	Caliza gris clara limpia wackestone: foraminíferos y bivalvos con venilleo de bitumen en flujos cargados de foraminíferos y bivalvos.	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta	Caliza micrítica de textura limpia, transicionando entre mudstone y wackestone. Contiene foraminíferos como Rotorbinella mesogeensis, Bulbobuccicrenata y Climacammina, además de carofitas, fragmentos de equinodermos y restos de conchas fosilizadas.
	Trampa	**6.00**	**B4**	Calizas grises a grises oscuras con bioturbación y tramos cortos limpios, wackestone, escasos fósiles tipo fragmentos rotos de conchas, débil flujo bituminoso.	FZ-6	Barrera de alta energía	Tramo limpio de caliza textura packstone, con foraminíferos como Perouvianella peruviana, Heterostegina y Rotorbinella mesogeensis. También se identifican algas verdes del género Sycidium (carofitas), fragmentos de bivalvos y cianobacterias Fontofilia furculata.
	Mineral	**5.00**	**B5**	Calizas limpias gris claras con trazas de bioturbación, foraminíferos en textura mudstone a wackestone	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta	-

	Mineral	2.00	B6	Caliza limpia gris clara, wackestone a packstone con presencia de foraminíferos y débil bioturbación.	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta	-
	Mineral	9.00	B7	Caliza limpia, gris a beige, wackestone con tramos packstone, presencia de foraminíferos, débil venilleo de bitumen.	FZ-6	Barrera de alta energía	-
	Mineral	3.00	B8	Caliza limpia, gris a beige, wackestone con tramos cortos packstone, presencia de foraminíferos y de gasterópodos, con tramos puntuales con débil bioturbación.	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta	Caliza micrítica con textura wackestone, donde se reconocen fragmentos de conchas de bivalvos o posibles briozoos, foraminíferos del tipo Perouvianella peruviana, algas verdes Dasyclads, ostrácodos y espinas de equinodermos del género Diadema.
	Mineral	2.00	B9	Caliza gris, grainstone, con abundantes foraminíferos, bioturbación y moderado bitumen.	FZ-6	Barrera de alta energía	-
	Trampa	3.00	B10	Caliza gris clara con moderada bioturbación, packstone, presencia de foraminíferos, moderado venilleo de bitumen.	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta	-
	Mineral	2.00	B11	Caliza limpia, gris a beige, wackestone, presencia de foraminíferos y fragmentos rotos de conchas, canales cortos packstone.	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta	-
	Mineral	5.00	B12	Caliza limpia, beige, wackestone con tramos mudstone, presencia de foraminíferos, presencia de estilolitos.	FZ-7	Plataforma Interior-marina abierta	-

Nota. Basado en clasificación de Wilson (1975) y Flügel (1972).

CONCLUSIONES

1. A partir de la construcción de 19 columnas estratigráficas derivadas de sondajes diamantinos que atraviesan la Estructura Tomasa, se logró definir con precisión la disposición litológica y los controles estratigráficos de la mineralización. La selección de 06 sondajes guía (no mineralizados) permitió establecer un marco de referencia para identificar las facies calcáreas estériles y contrastarlas con aquellas asociadas a mineralización.
2. El análisis de facies calcáreas en los Horizontes Beta y Gasterópodos (Formación Jumasha Superior) reveló contrastes significativos entre facies mineralizadas y estériles en la Estructura Tomasa. En el Horizonte Gasterópodos, se identificaron 18 facies sellantes (calizas oscuras, bioturbadas y ricas en bitumen) y 15 facies hospedantes (calizas claras, limpias, con texturas grainstone a packstone y fósiles abundantes), que favorecieron la mineralización al actuar como trampas permeables. Por otro lado, el Horizonte Beta presentó 9 facies hospedantes (calizas claras, wackestone a packstone, con foraminíferos y bitumen escaso) y 3 facies sellantes (calizas margosas y bioturbadas). Estos resultados destacan el control estratigráfico-local de la mineralización, proporcionando criterios clave para explorar horizontes análogos en estructuras aledañas.
3. El estudio permitió tipificar las facies calcáreas favorables para mineralización en los Horizontes Beta y Gasterópodos (Fm. Jumasha Superior). En el Horizonte Gasterópodos, las facies mineralizadas (gris claro a blanquecino, grainstone a packstone) presentan alta porosidad por su contenido fósil (foraminíferos, gasterópodos), reflejando ambientes someros de alta energía. En el Horizonte Beta, las facies mineralizadas (gris claro a beige, wackestone a grainstone) muestran porosidad asociada a fósiles. Ambos horizontes contrastan con facies trampa (gris oscuro a negro, wackestone a mudstone), caracterizadas por bioturbación, bitumen disperso y menor permeabilidad. Estos resultados evidencian

que la mineralización CRD está controlada por facies carbonatadas permeables en ambientes de alta energía, proporcionando criterios clave para exploración en estructuras similares.

4. La correlación estratigráfica de 19 secciones en la Estructura Tomasa demostró una notable continuidad lateral de las facies mineralizadas, confirmando la persistencia de condiciones favorables para la mineralización CRD. En el Horizonte Gasterópodos se identificaron cinco zonas favorables (13-38 m de espesor), mientras que en el Horizonte Beta se reconocieron cuatro zonas (3-21 m), todas con espesores constantes a lo largo de 800 metros de extensión. Este análisis no solo validó la continuidad de los mantos mineralizados, sino que también reveló el potencial prospectivo hacia el suroeste de la estructura. Los resultados proporcionan un marco confiable para guiar futuras campañas de exploración en el área y estructuras aledañas.
5. El estudio integrado de características macroscópicas, microscópicas y micropaleontológicas permitió identificar los elementos arquitecturales clave de las facies calcáreas en la Estructura Tomasa. Las facies mineralizadas se asocian a ambientes de alta energía (Barrera de alta energía, Margen de Plataforma), caracterizadas por alta diversidad fósil y texturas porosas (packstone-grainstone) que favorecieron la circulación hidrotermal. En contraste, las facies sellantes (mudstone-wackestone) corresponden a ambientes restringidos (*Lagoon*, Plataforma Interior). La aplicación del modelo de Zonas de Facies de Wilson (1975) reveló una transición vertical en el Horizonte Beta desde facies restringidas a energéticas, reflejando fluctuaciones paleoambientales. Estos resultados proporcionan un marco conceptual valioso para la exploración de nuevos blancos mineralizados en el distrito.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio detallado de las facies sedimentarias, tanto favorables como no favorables, en la roca encajonante de la mineralización de la Estructura Camila. Dicha estructura presenta información igualmente abundante y completa, lo que permitiría ampliar el entendimiento de los controles estratigráficos y sedimentológicos en la distribución de la mineralización, conjuntamente al control estructural en un área mayor.
2. Desarrollar un modelo tridimensional de la cuenca para definir con precisión la configuración espacial y las geometrías de los componentes de la plataforma carbonatada. Este modelo no solo permitiría identificar zonas favorables para la roca encajonante a escala de cuenca, sino que también se convertiría en una herramienta estratégica para optimizar la planificación de futuras campañas de exploración, enfocándose en el control estratigráfico como factor clave en la distribución de la mineralización.
3. Elaborar un modelo dinámico que reconstruya la evolución de la cuenca, identificando cortejos de sistemas deposicionales de eventos de transgresión y regresión en sus distintos niveles estratigráficos. Este enfoque integral permitiría comprender las interrelaciones entre la tectónica, la sedimentación y los cambios en los controles de la cuenca, así como su impacto en la distribución de facies favorables. De esta manera, se optimizaría la predicción de zonas con potencial exploratorio, enfocándose en el control estratigráfico de la roca encajonante del yacimiento.

REFERENCIAS

Aigner, T., Doyle, M., Donald, L., Epting, M., & Van Vliet, A. (1989). Quantitative modeling of carbonate platforms: some examples. *SEPM Special Publications*, 44, 27-37. Obtenido de https://pubs.geoscienceworld.org/sepm/books/edited-volume/1055/chapter-abstract/10540757/Quantitative-Modeling-of-Carbonate-PlatformsSome?redirectedFrom=PDF

Alarco, R., & Olivera, V. (2024). *Estudio sedimentológico de columnas estratigráficas de la Formación Jumasha en los alrededores de la mina Uchucchacua y del proyecto de plata Yumpag.* Lima.

Ángeles, C. (2015). *Geología del Cerro Atalaya (provincia de Daniel Alcides Carrión, departamento de Pasco).* Informe Interno Buenaventura.

Arche, A. (2010). *Sedimentología: Del Proceso físico a la cuenca sedimentaria.* Madrid: Gráficas Blanco, S. L. Obtenido de https://www.academia.edu/44029010/Sedimentolog%C3%ADa_Del_proceso_f%C3%ADsico_a_la_cuenca_sedimentaria

Benavides, V. A. (1956). Cretaceous System in Northern Peru. *Bulletin of the American Museum of Natural History, 1108*, 353–494.

Carlotto, V. (2014). *Revisión sobre la geología: Sedimentología y tectónica, en los alrededores de la mina Uchucchacua.* CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A., Lima.

Catuneanu, O., St. Clement, C., Posamentier, H., & Strasser, A. (2011). Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature. *Research Gate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/233550413_Sequence_Stratigraphy_Methodology_and_Nomenclature

Chávez, W. X. (2023). *Informe Petromineragráfico y Paragénesis de secciones delgadas en Tomasa.* Compañía de Minas Buenaventura.

Coba, L., Soana, J., & Huachaca, C. (2024). *INGEMMET*. Obtenido de https://metadatos.ingemmet.gob.pe:8443/geonetwork/srv/api/records/a366c0fb-843c-4a23-8125-7380d9499eb4/attachments/21j1.pdf

Cobbing, E. (1973). *Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta.* Huaraz: INGEMMET. Obtenido de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/144

Cobbing, E., Sánchez, A., Valladares, M., & Olazabal, H. (1996). *Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca.* Huaraz: INGEMMET. Obtenido de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/199

Consorti, L., Navarro-Ramirez, J., Bodin, S., & Immenhauser, A. (2017). The architecture and associated fauna of Perouvianella peruviana, an endemic larger benthic foraminifera from the Cenomanian–Turonian transition interval of central Peru. *Springer-Verlag* , 1-5.

Cox, D. P., Singer, D. A., & Rodriguez, E. A. (1987). *Modelos de Yacimientos Minerales.* U.S. Geological Survey. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Donald_Singer/publication/280133345_Modelos_de_yacimientos_minerale/links/55abed6b08aea99467279631/Modelos-de-yacimientos-minerale.pdf?__cf_chl_tk=yf4qFZReXMU.Xke5WX5vk1nMmTi5O2JbwTH7g94jtSg-1742853276-1.0.1.1-PzkXhPo_

Cruz, E. (03 de 03 de 2023). Depósitos tipo CRD poseen hasta 400 millones de toneladas con altas leyes de plata, zinc y plomo. *Rumbo Minero Internacional*. Obtenido de https://www.rumbominero.com/peru/noticias/depositos-tipo-crd/

Dolores, Y. B. (2019). *Planeamiento de Minado Subterráneo para la Zona de Mantos, KZ-ICM Pachapaqui S.A.C.* Tesis, UNASAM, Huaraz. Obtenido de http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4718

Dunhan, R. (1962). *Classification of Carbonate rocks accordíng to depositional textures.* Oklahoma: W. E. Ham. Obtenido de https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/51680/#:~:text=Three%20textural%20features%20seem%20especially,be%20subdivided%20into%20mudstone%2C%20wackestone%2C

Escalante, A. (2008). *Patterns of distal alteration zonation around Antamina Cu-Zn skarn and Uchucchacua Ag-base metal vein deposits, Peru : mineralogical, chemical and isotopic evidence for fluid composition, and infiltration, and implications for mineral exploration.* Vancouber: The University of British Columbia. Obtenido de https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0052369

Feininger, T. (1987). Allochthonous terranes in the Andes of Ecuador and northwestern Peru. *Canadian Journal of Earth Sciences, 24*, 266-278.

Flügel, E. (1972). *Mikrofazielle Untersuchungen in der alpinen Trias Methoden und Probleme.* Innsbruck.

Flügel, E. (2010). *Microfacies of Carbonate Rocks.* Verlag Berlin Heidelberg : Springer.

Flügel, E. H. (1982). *Microfacies Analysis of Limestone.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Folk, R. L. (1959). Practical Petrographic Classification of Limestones. *AAPG Bulletin*(43), 1-38.

Gil , W. (2024). *Interpretación y Modelo Geológico Estructural entre las Unidades y Proyectos Mineros Yumpag, Uchucchacua, Chonta, Anamaray, Cubo y Llicllao.* Compañía de Minas Buenaventura, Cerro de Pasco.

Hamid, S., Fursich, F., & Kohansal, N. (2012). Análisis de facies y ambientes depositacionales de la unidad Sadr del Cretácico Superior en el área de Nakhlak. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29*(2), 384-397. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742012000200007

Illing, L. V. (1954). Bahamas calcareous sands. En *AAPG Bulletin.*

Jaillard, E. (1986). La sédimentation crétacée dans les Andes du Pérou central: exemple de la Formation Jumasha (Albien moyen-supérieur à Turonien supérieur) dans la région d'Oyón (Département de Lima). *Géodynamique, 1*, 97-108.

Jaillard, E., & Arnaud, A. (1993). The Cenomanian-Turonian Transition on the Peruvian Margin. *Cretaceous Research, 14*, 585-605.

Jaillard, E., Hérail, G., Monfret, T., Díaz-Martínez, E., Baby, P., Lavenu, A., & Dumon, J. (2000). Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru,Bolivia, and northernmost Chile, in Cordani, U , Milani, E.J., Thomas Filho, A., and Campos, D.A., eds., Tectonic Evolution of South America. *31st International Geological Congress*, 481-559.

Jones, B., & Desrochers, A. (1992). *Shallow carbonate platforms* . WALKERS R.G. & JAMES N.P. (eds.) Facies models – response to sea level changes. p. 277-303. St. John´s: Geological Association of Canada .

Korzhinskii, D. S. (1946). Metasomatic zoning in wallrock alteration and veins. 321–332.

Less, A., & Buller, A. T. (1972). Modern temperate-water and warm-water shelf carbonate sediments contrasted. *Marine Geology*, 1767-1773.

Ligarda, R., Arias, E., Sabán, C., Salazar, J., Calderón, C., & Bermúdez, C. (2017). El Proyecto Yumpag: Un nuevo yacimiento de alta ley de plata en el Perú Central. Importancia de la identificación de facies carbonatadas en la formación Jumasha y controles

estructurales para su descubrimiento. *ProExplo*, 88-93. Obtenido de https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/bib/47188

Lissón, C. (1938). Prolongación por el Norte y por el Sur del Cretácico de Lima y la determinación de sus diferentes pisos. *Revista de Ciencias*, 149-164.

Litherland, M., Aspden, J., & Jemielita, R. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey Overseas Memoirs. 11*, págs. 1-146. Nottingham: British Geological Survey.

Matthews, R. (1984). *Dynamic stratigraphy: An introduction to sedimentation and stratigraphy* . Chicago: Prentice Hall.

Megard, F. (1984). The Andean orogenic period and its major structures in central and northern Peru. *IUGS, Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources, 8*, 91-109.

Megaw, P. (2023). *ProEXPLO2023* . Obtenido de https://proexplo.com.pe/proexplo2023/front/public/es/seminarios-es

Megaw, P. K. (1998). Carbonate-hosted Pb-Zn-Ag-Cu-Au replacement deposits: An. *Mineralogical Association of Canada Short Course, 26*, 258–337.

Meinert, L. (1983). *Variability of skarn deposits.* Iowa: Kendall-Hunt-Publishing.

Meinert, L. (2020). *Workshop on Exploration for Skarn Deposits.* Washington: Washington State University. Obtenido de https://www.academia.edu/7723517/Workshop_on_Exploration_for_Skarn_Deposits

Meinert, L. D. (2005). World Skarn Deposits. *Society of Economic Geologists, Inc, Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 299–336. Obtenido de https://pubs.geoscienceworld.org/segweb/books/edited-volume/1940/chapter-abstract/107714310/World-Skarn-Deposits?redirectedFrom=fulltext

Moore, R. C. (1949). *Introduction to Historical Geology.* London,New York, Toronto: McGraw-Hill.

Morche, W. (2018). *Proyecto Yumpaq - Atalaya - Llicllao.* Compañía de Minas Buenaventura. INGEMMET .

Muntean, J. L. (2007). Replacement Deposits of Silver, Lead, and Zinc in the United States. *Economic Geology*.

Navarro, J. (2008). Evolución sedimentológica y tectónica de las formaciones Jumasha-Celendín y su relación como rocas huéspedes de la faja de skarn olimetálico y de reemplazamiento en la cordillera central de Perú. *X Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores*. Obtenido de https://onetunnel.org/documents/evoluci-n-sedimentol-gica-y-tect-nica-de-las-formaciones-jumasha-celend-n-y-su-relaci-n-como-rocas-hu-spedes-de-la-faja-de-skarn-polimet-lico-y-de-reemplazamiento-en-la-cordillera-central-de-per-

Pratt, B., & James, N. (1986). The St George Group (Lower Ordovician) of western Newfoundland: tidal flat island model for carbonate sedimentation in shallow epeiric seas. *Sedimentology*, 313-343.

Ramos, V. A. (2009). Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision*. Obtenido de https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/books/edited-volume/202/chapter-abstract/3793852/Anatomy-and-global-context-of-the-Andes-Main?redirectedFrom=fulltext

Richter, D. (1983). Classification of coated grains: discussion (ed. by Tadeusz Peryt). En *Coated grains* (págs. 7-8). Berlín: Springer-Vcrlag.

Romani, M. (1982). *Géologie de la région minière Uchucchacua-Hacienda Otuto, Pérou.* Francia: Universidad de Grenoble.

Sabán de la Portilla, C. (2016). *Informe sobre el trabajo de integración entre exploraciones distritales y geología mina de la UEA Uchucchacua.* CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A., Lima.

Sarg, J. F. (1988). Carbonate sequence stratigraphy, In: Sea-Level Changes: an Integral Approach. *Spec. Publication of SEG Paleontology and Mineralogy*(42), 155-181.

Scott, J., & Faber, P. (1966). The Foraminifera in the Cretaceous Chalk of the East Coast of England. *Palaeontology*.

Selley, R. C. (1970). *Ancient Sedimentary Enviroments.* London: Chapman Hall.

SRK Consulting Inc. (2017). *Elaboración del Modelo Geológico Estructural de la Unidad Minera Uchucchacua.* Lima.

Suriamin, F., & Pranter, M. (2017). Stratigraphic and Facies Control on Porosity and Pore Types of Mississippian Limestone and Chert Reservoirs: An Example from North Central Oklahoma. *AAPG*. Obtenido de https://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2018/11058suriamin/ndx_suriamin.pdf.html

Taylor, R., Hammarstrom, J., Piatak, N., & Seal, R. (2010). *Arc-Related Porphyry Molybdenum Deposit Model.* Virginia: U.S. Geological Survey, Reston. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/333457280_Arc-Related_Porphyry_Molybdenum_Deposit_Model_Mineral_Deposit_Models_for_Resource_Assessment_Scientific_Investigations_Report_2010-5070-D/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlI

Titley, S. R. (1996). Characteristics of high temperature carbonate-hosted replacement ores and some comparisons with Missisippi Valley type ores. *Special Publications of the Society of Economic Geologists*, 244–254.

Tucker, M. E. (1981). Sedimentary Petrology. An Introduction. *Blackwell Scientifi c Publications*. Obtenido de https://books.google.com.pe/books/about/Sedimentary_Petrology.html?id=C_gtHQAACAAJ&redir_esc=y

Tucker, M. E. (1985). *Calcitized aragonite ooids and cements from the Late Precambrian Biri Formation of southern Norway.* Durham: Department of Geological Sciences, University of Durham.

Tucker, M. E. (1990). *Carbonate Sedimentology.* Oxford: Blackwell Scientifi c Publications.

Velásquez, C. (2009). Subdivisión de la Placa de Nazca en tres nuevas placas tectónicas y su incidencia con la sismicidad peruana actual. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, 12*, 77-87. Obtenido de https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG14-071.pdf

Vera, J. (1994). *Estratigrafía: Principios y Métodos.* Rueda.

Walker, R. G., & James, N. P. (1992). Facies models. Response to sea level change. *Geological Association of Canada*.

Wilson, J. (1963). Cretaceous stratigraphy of central Andes of Peru. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 47*, 1-34.

Wilson, J. L. (1975). *Carbonate Facies in Geologic History.* Springer-Vcrlag, Berlin.

Zhaoshan, C. (2023). *Skarns and Related deposits.* Compañía de Minas Buenaventura, Lima.

Zharikov, V. (1970). Skarns. *International Geology Review, 12*, 541–559. Obtenido de https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00206817009475262

Zimtu Capital. (Sept de 2021). Carbonate Replacement Deposits (CRDs): What are CRDs? *Zimtu Capital*. Obtenido de https://www.zimtu.com/what-are-carbonate-replacement-deposits/

ANEXOS

Anexo 01: Descripción Microscópica de Facies por Niveles

A. Formación Jumasha – Marker

1. SD636496:

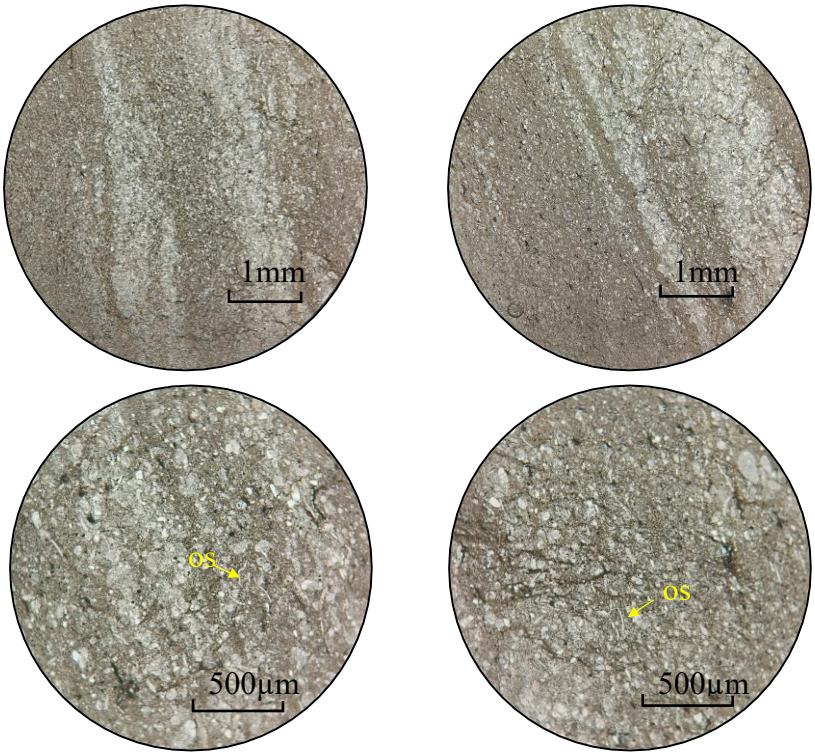
Fotografía 15

Caliza mudstone con textura laminada y matriz margosa gris oscura



Fotografía 16

SD636496 NP YUM22-230 816.80 metros. Ostrácodos-os.



2. **SD636497**

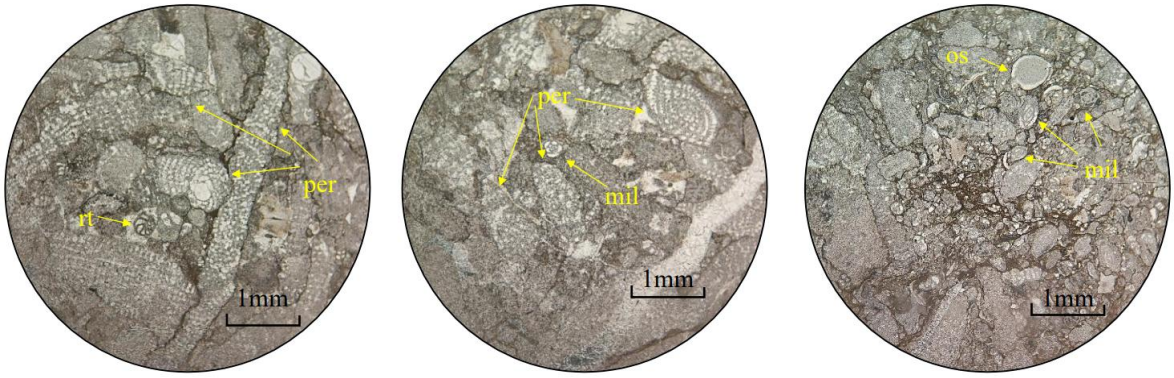
Fotografía 17

Caliza limpia gris claro textura packstone a grainstone



Fotografía 18

SD636497 NP YUM22-230 819.00 metros. Foraminíferos del tipo *Miliolidae-mil* y *Peruvianella Peruviana-per*, *Rotorbinella mesogeensis-rt* y ostrácodos-os.

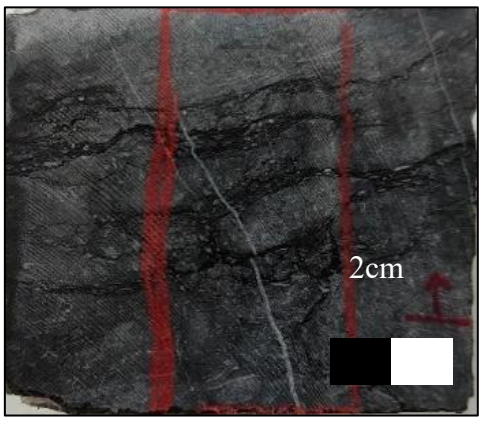


B. Formación Jumasha Superior-Horizonte Gasterópodo

1. **SD636478: G1**

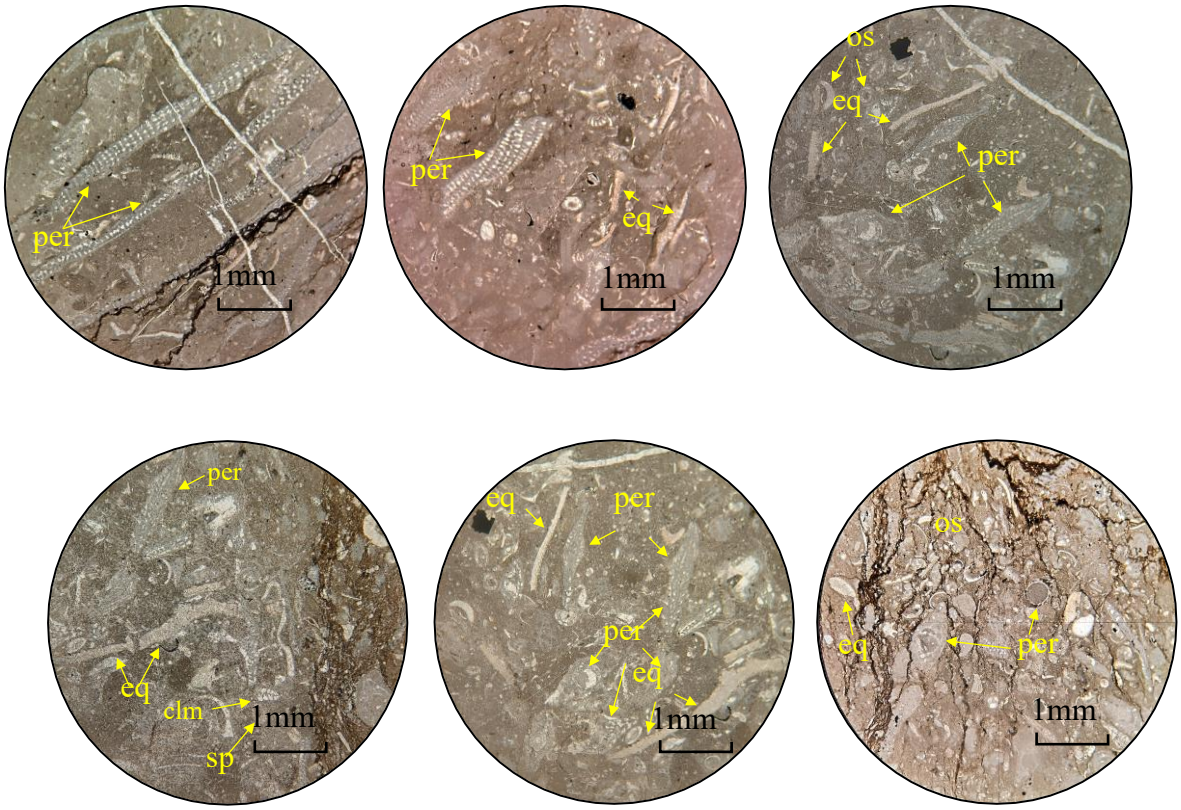
Fotografía 19

Caliza micrítica limpia bioclástica



Fotografía 20

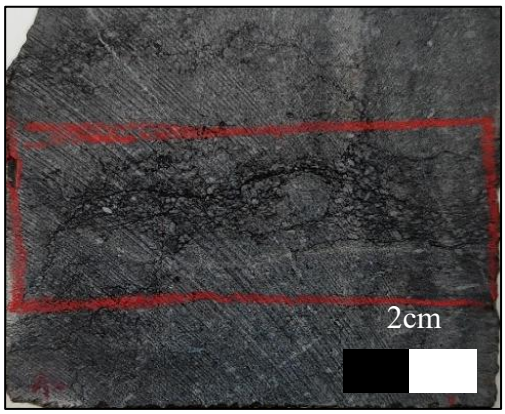
SD636478 NP YUM22-230 624.60 metros. Peruvianella Peruviana-per, Climacammina- clm, equinodermos-eq, espinas de equinordermos-sp, ostrácodos-os, pellets-pel



2. **SD636479: G3**

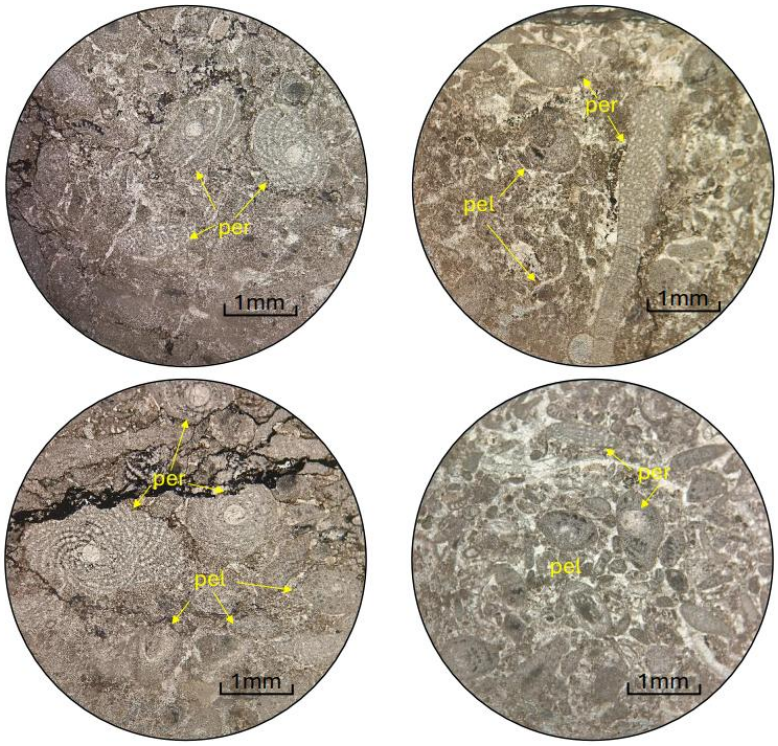
Fotografía 21

Caliza limpia gris claro textura grainstone



Fotografía 22

SD636479 NP YUM22-230 635.20 metros. Peruvianella Peruviana-per, pellets-pel.



3. **SD636479: G5**

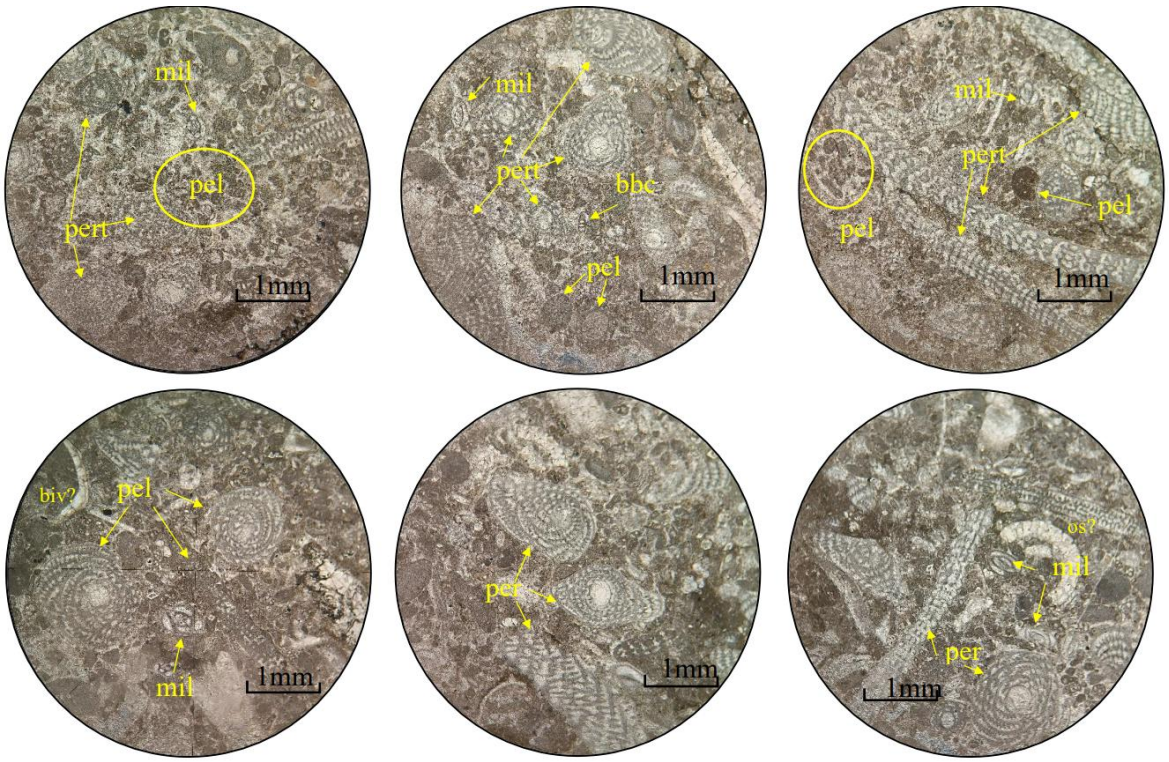
Fotografía 23

Caliza limpia gris claro textura grainstone con abundantes foraminíferos largos y cortos



Fotografía 24

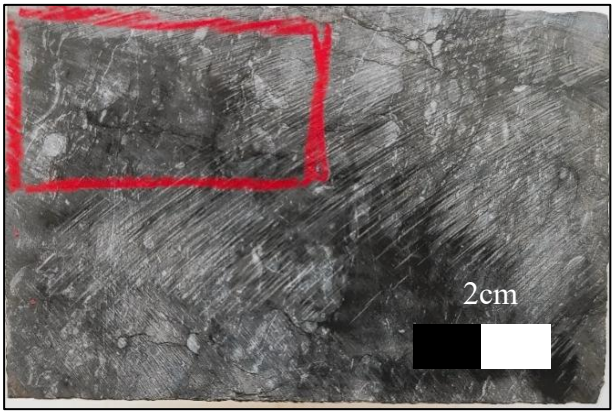
SD636480 NP YUM22-230 645.50 metros. Peruvianella Peruviana-per, Miliolidae-mil, Bulbobuccicrenata-bbc, y pellets-pel



4. **SD636481: G8**

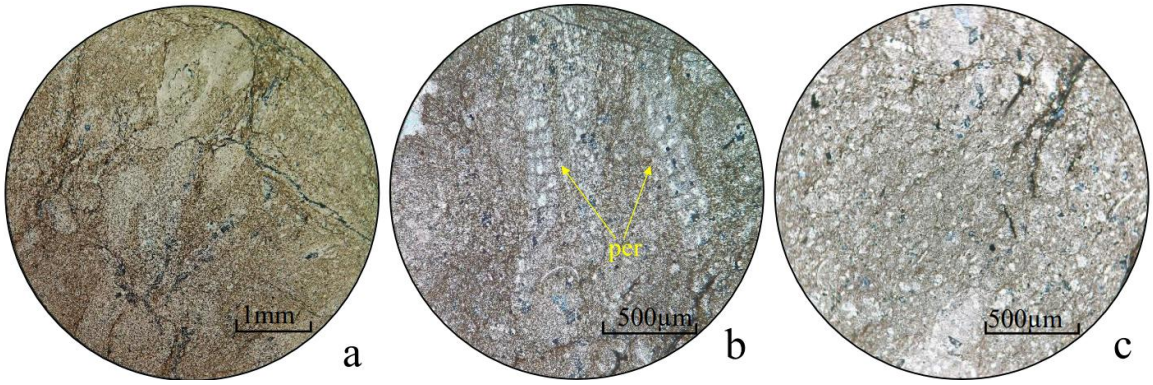
Fotografía 25

Caliza margosa, textura wackestone fuertemente bioturbada



Fotografía 26

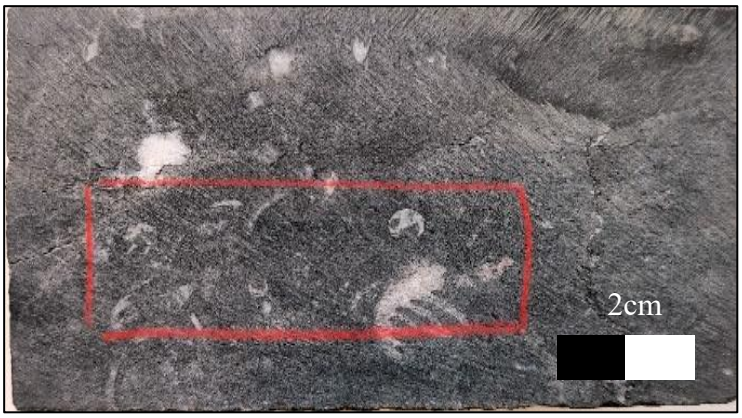
SD636481 NC YUM22-230 656.00metros Perouvianella peruviana (Steinmann)-per (b). Manchas de carbonatos más claros y oscuros, débil presencia de bitumen en venillas.



5. **SD636482: G9**

Fotografía 27

Caliza limpia gris claro textura grainstone



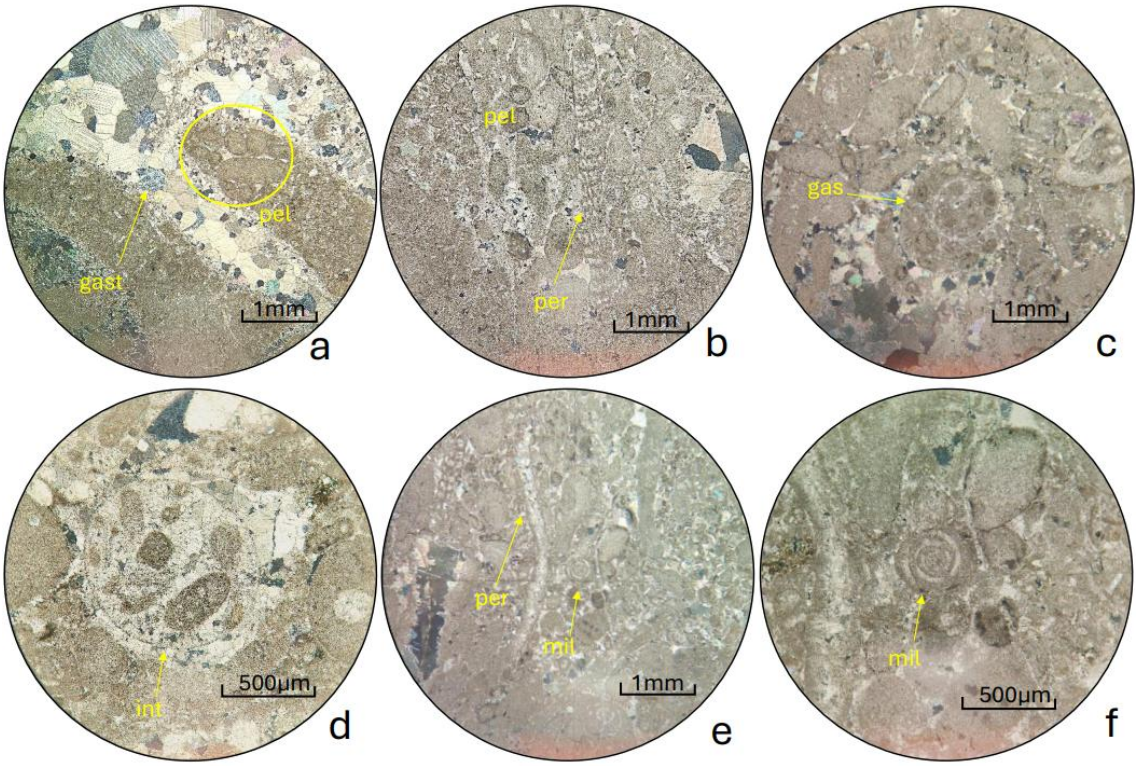
Fotografía 28

Caliza grainstone con bioclastos y foraminíferos micritizados



Fotografía 29

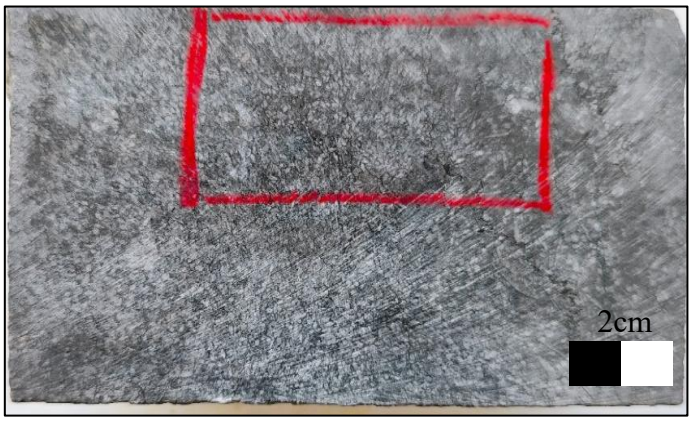
SD636482 NC YUM22-230 677.30 metros. Bioclasto de gasterópodo-gast, peloides-pel (a,c), miliólidos-mil (e,f) y *Perouvianella peruviana (Steinmann)-per*.



6. SD636483: G10

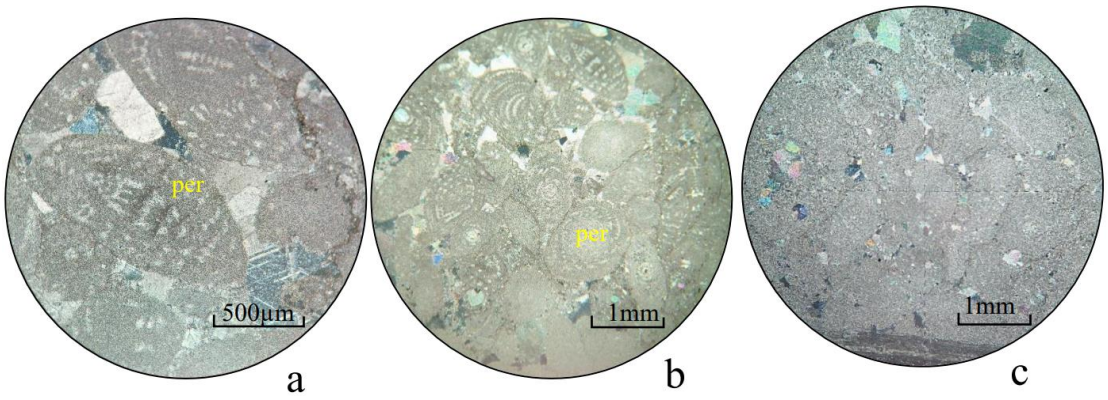
Fotografía 30

Caliza limpia gris claro textura grainstone con abundantes foraminíferos y algunos gasterópodos



Fotografía 31

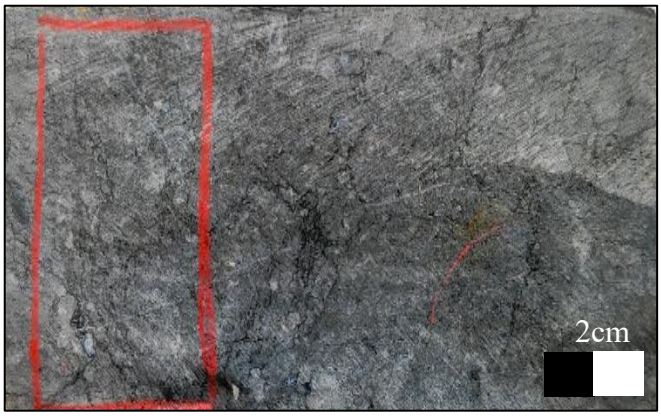
SD636483 NC YUM22-230 682.00 metros *Perouvianella peruviana*-per (*Steinmann*).



7. **SD636484: G11**

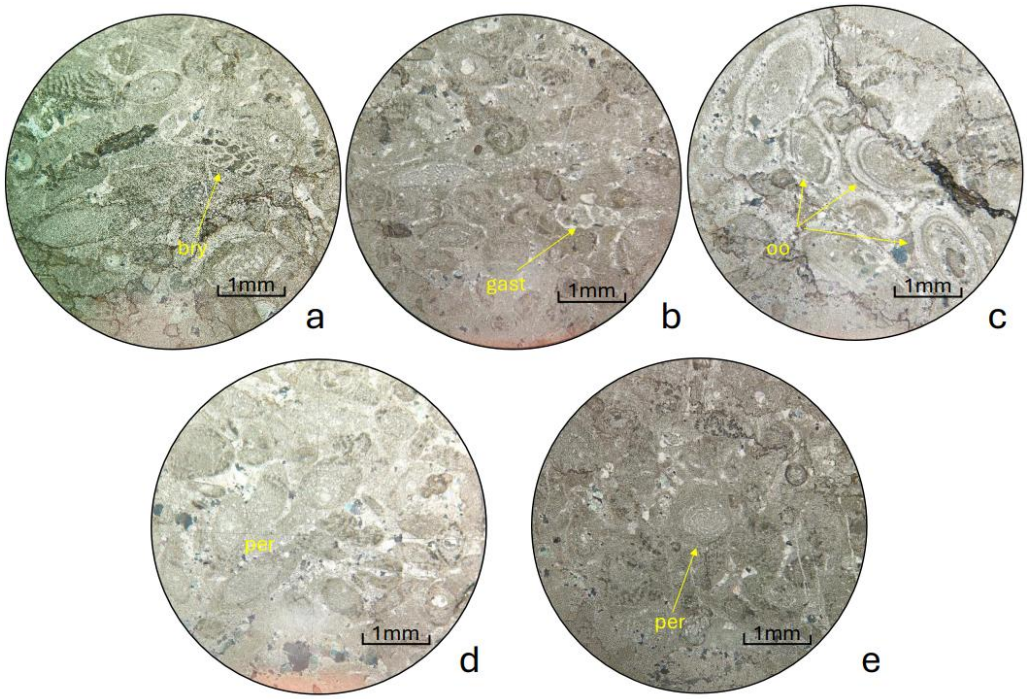
Fotografía 32

Caliza limpia gris claro textura grainstone a grapestone



Fotografía 33

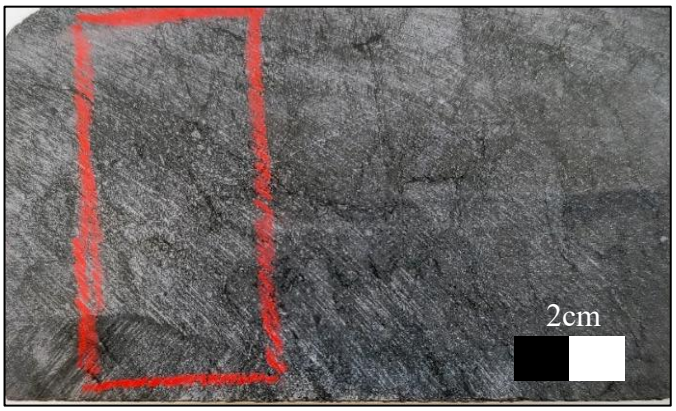
SD636484 NC YUM22-230 688.00 metros. *Perouvianella peruviana*-per (*Steinmann*), oolitos-oo (c), gasterópodos-gast (b) y briozooarios-bry (a)



8. SD636485: G15

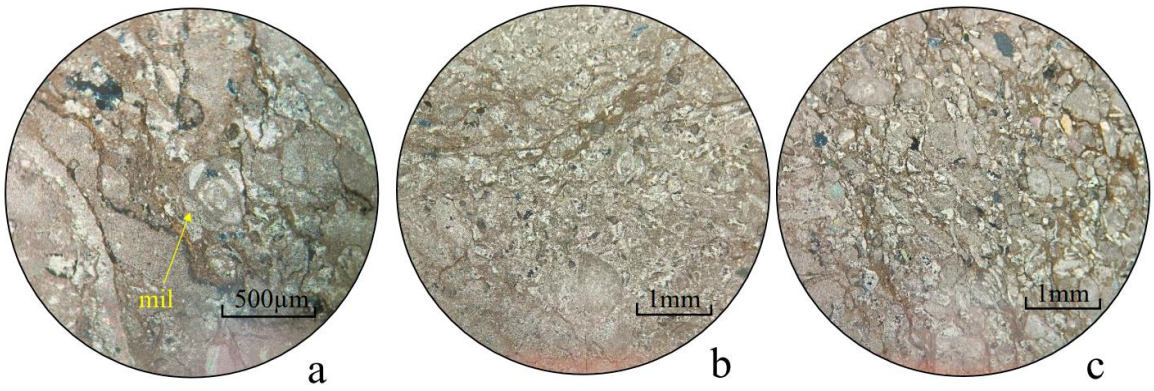
Fotografía 34

Caliza limpia gris claro textura grainstone a grapestone con presencia de abundantes foraminíferos y puntuales gasterópodos



Fotografía 35

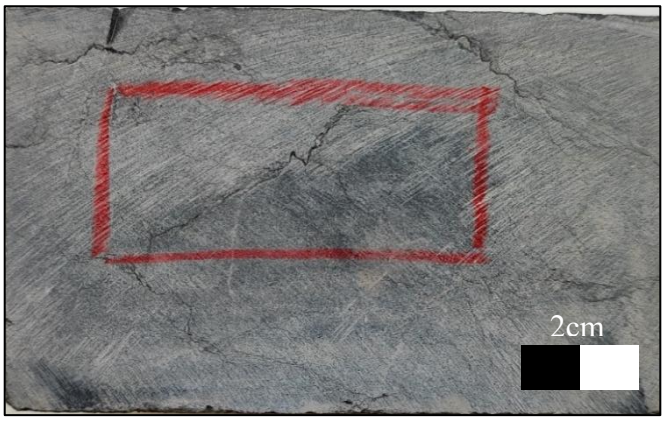
SD636485 NC YUM22-230 713.20 metros. Foraminíferos miliólidos-mil (a).



9. SD636486: G17

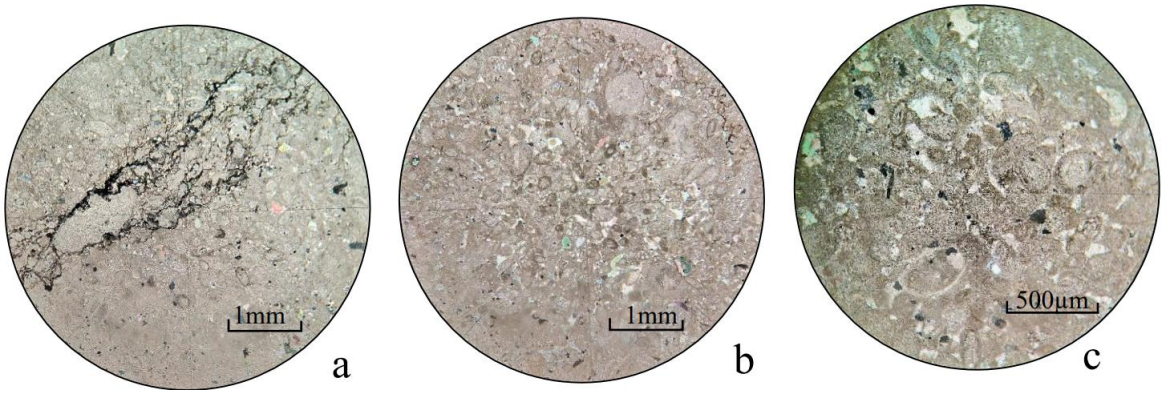
Fotografía 36

Caliza limpia gris clara, textura grapestone de grano muy fino



Fotografía 37

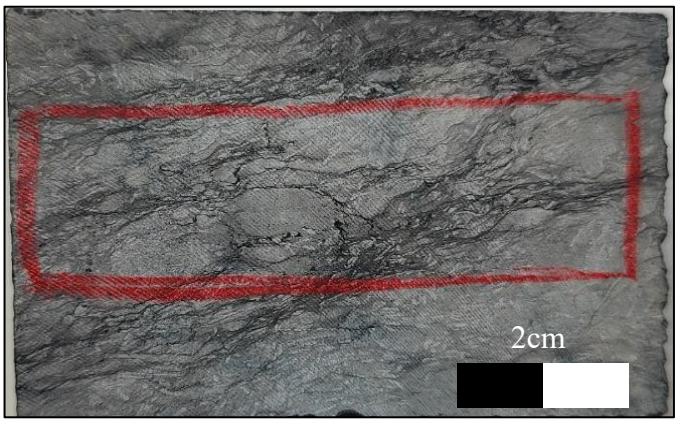
SD636486 NC YUM22-230 722.00 metros.



10. SD636487: G18

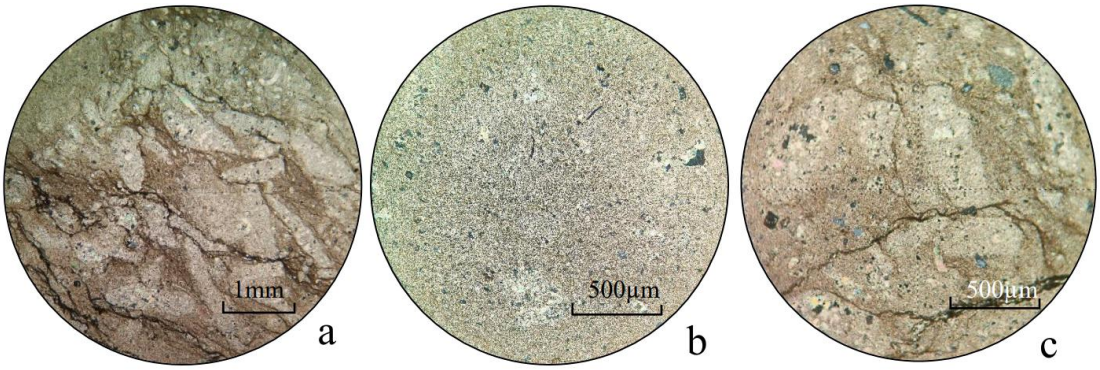
Fotografía 38

Caliza limpia gris clara, textura packstone de grano fino



Fotografía 39

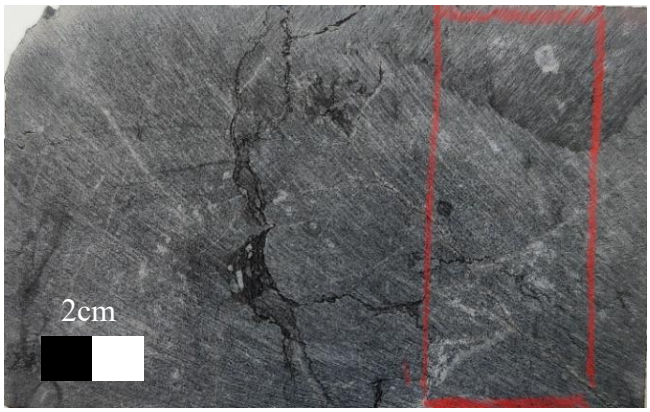
SD636487 NC YUM22-230 731.50 metros**.**



11. SD636488: G19

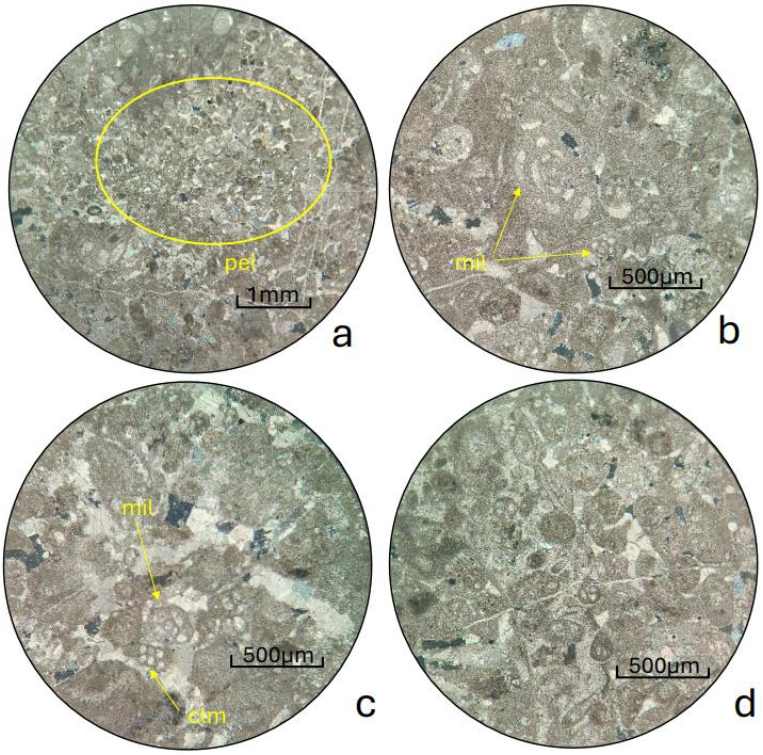
Fotografía 40

Caliza limpia gris clara, textura grainstone con presencia de foraminíferos y gasterópodos



Fotografía 41

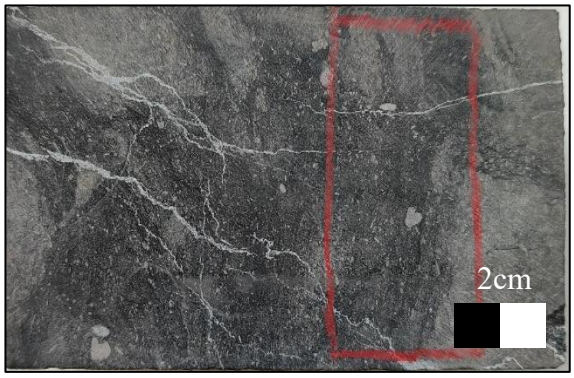
SD636488 NC YUM22-230 737.20 metros. Peloides-pel, foraminíferos miliólidos-mil (b,c,d) y Climacammina-clm (c).



12. SD636489: G22

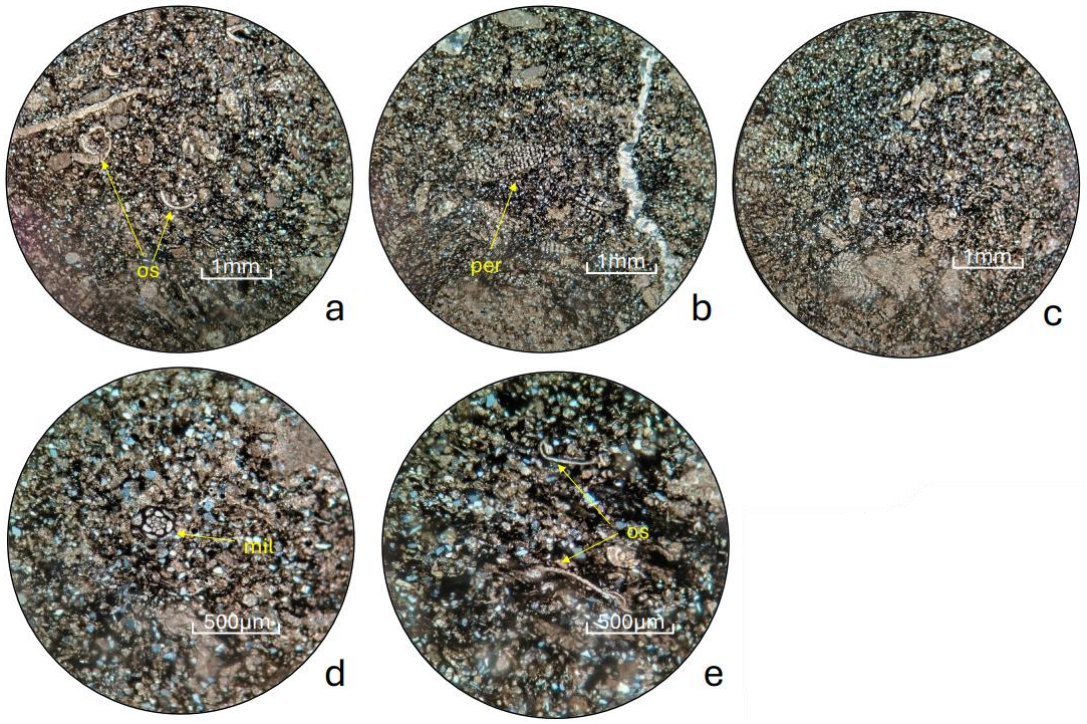
Fotografía 42

Caliza gris oscura bituminosa y margosa, textura packstone presencia de foraminíferos



Fotografía 43

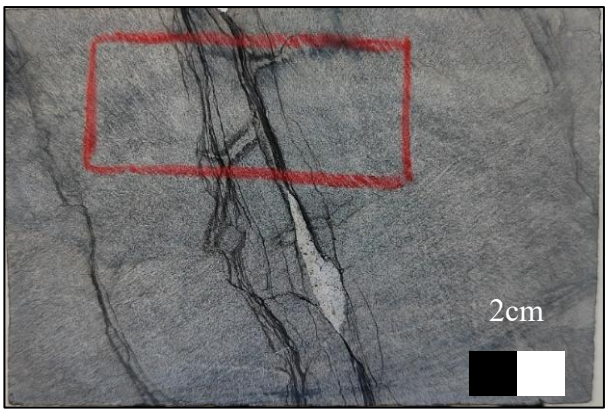
SD636489 NC YUM22-230 756.00 metros. Ostrácodos-os (a, e), Perouvianella peruviana-per (b,c) y miliólidos-mil (d).



13. SD636490: G29-a

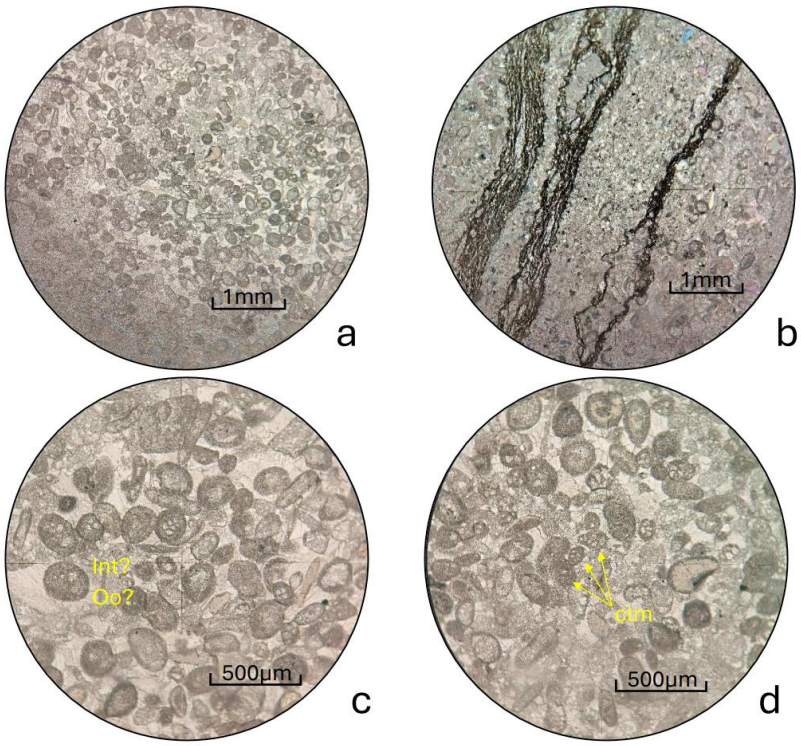
Fotografía 44

Caliza limpia gris clara, textura grapestone de grano muy fino



Fotografía 45

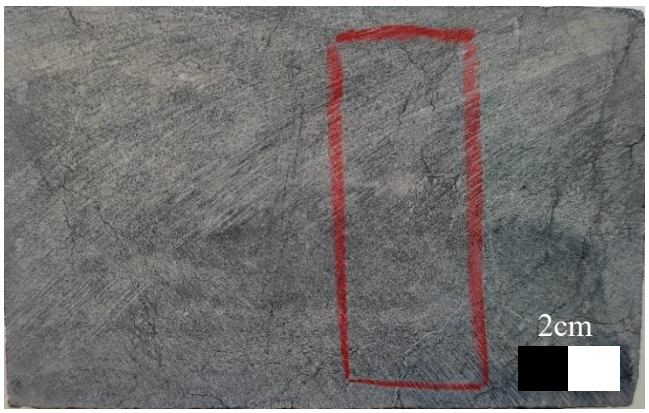
SD636490 NP YUM22-230 722.80 metros. Ooides-oo , intraclastos-int (c) y Climacammina-clm (c,d).



14. SD636490: G29-b

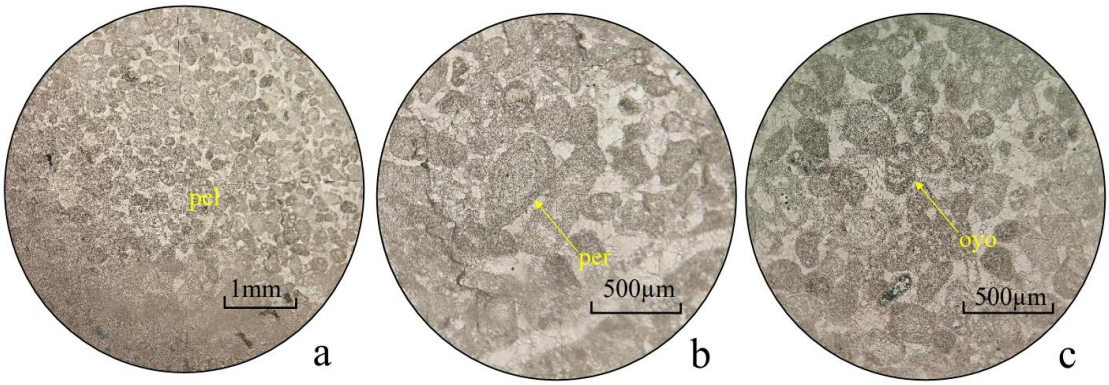
Fotografía 46

Caliza limpia gris clara, textura grapestone de grano muy fino



Fotografía 47

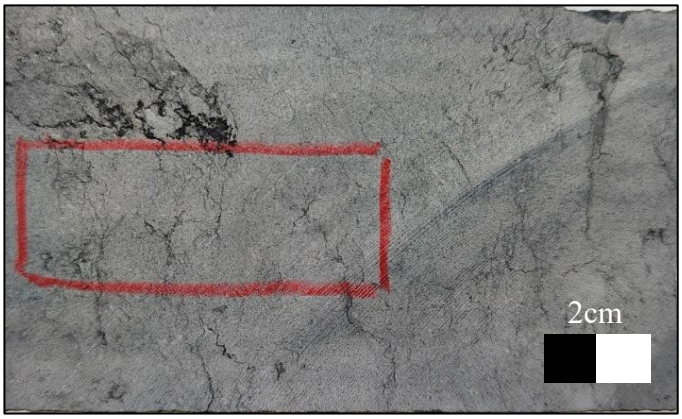
SD636491 NP YUM22-230 773.65 metros. Miliólidos como Pseudopeneroplis Oyonensis-oyo (c) y foraminíferos Perouvianella peruviana-per (b).



15. SD636490: G29-c

Fotografía 48

Caliza limpia gris clara a blanquecina, grano muy fino, textura grainstone



Fotografía 49

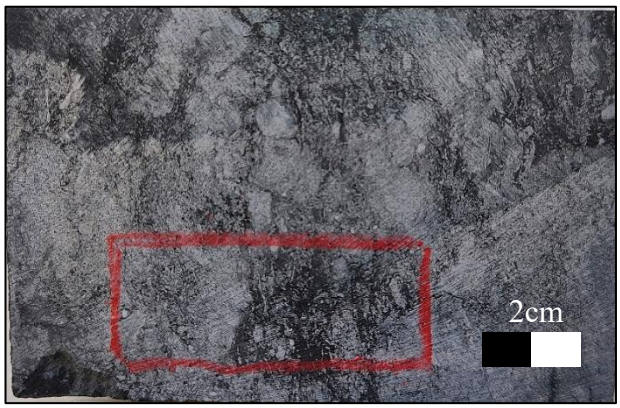
SD636492 NP YUM22-230 788.00 metros. Miiliolidos-mil.



16. SD636493: G30

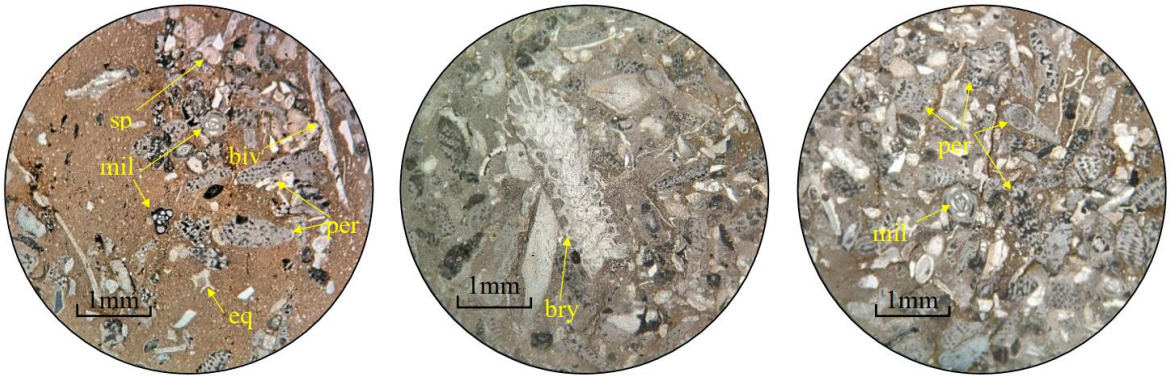
Fotografía 50

Caliza bituminosa gris clara con abundante bitumen intersticial entre los bioclastos



Fotografía 51

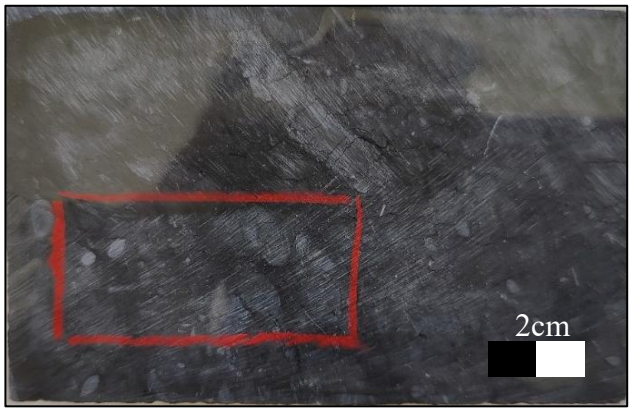
SD636493 NP YUM22-230 791.60 metros. Peruvianella Peruviana-per, miliolidae-mil, briozoos-bry, espinas de equinodermos-sp, fragmentos de equinodermos-eq y fragmentos de bivalvos-biv.



17. SD636494: G32

Fotografía 52

Caliza micrítica margosa gris oscura de textura mudstone a wackestone



Fotografía 53

SD636494 NP YUM22-230 795.40 metros.



18. SD636495: G33

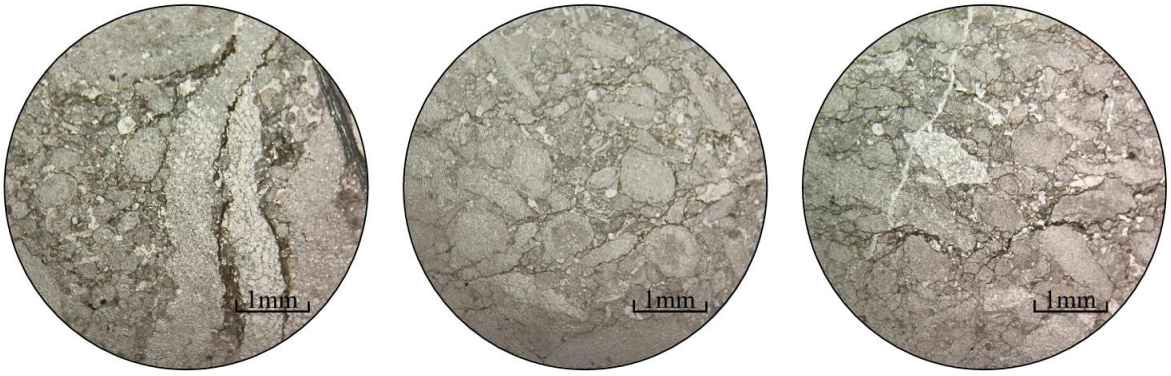
Fotografía 54

Caliza esparítica gris clara de textura grainstone, grano muy grueso



Fotografía 55

SD636495 NP YUM22-230 809.30 metros.

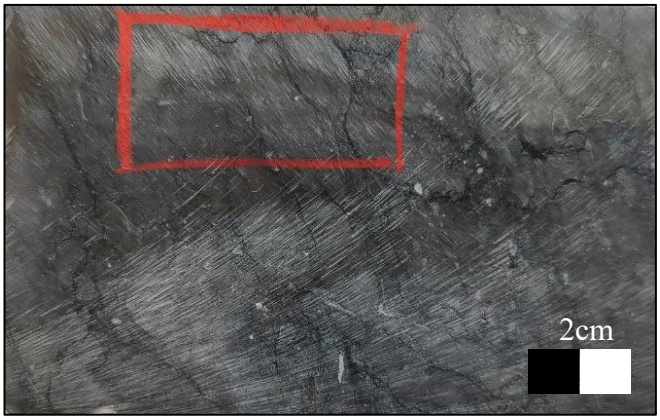


C. Formación Jumasha Superior-Nivel Beta

1. SD636465: B1

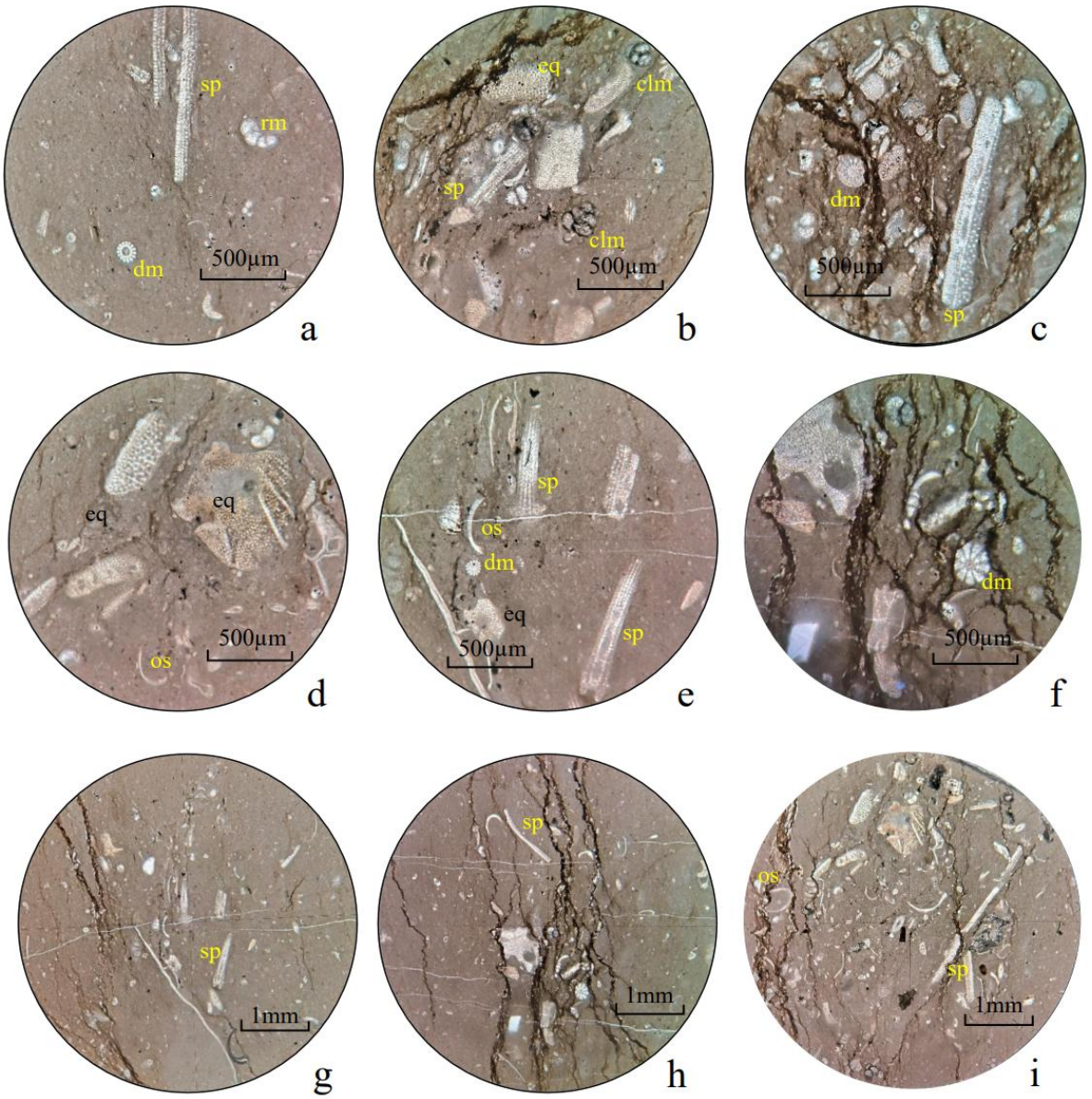
Fotografía 56

Caliza gris, textura wackestone, moderado venilleo polidireccional de bitumen



Fotografía 57

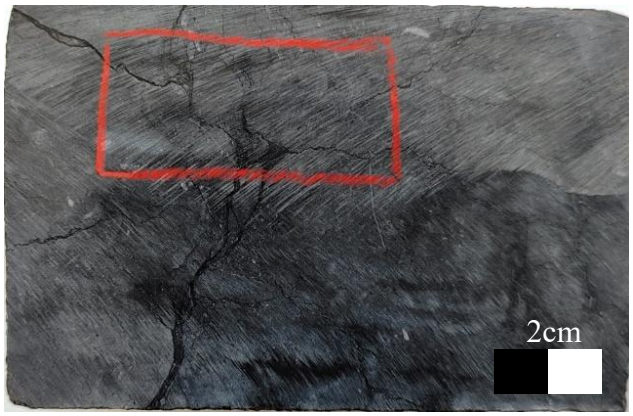
SD636465 NP YUM21-225 556.47 metros. Espinas de equinodermos-sp(a,c,e), equinodermos del tipo Diadema -dm (c,e,f), equinodermos -eq(b,d,e,f), ostrácodos (os), Rotorbinella mesogeensis-rm (a) y Climacammina- clm (b).



2. **SD636466: B3**

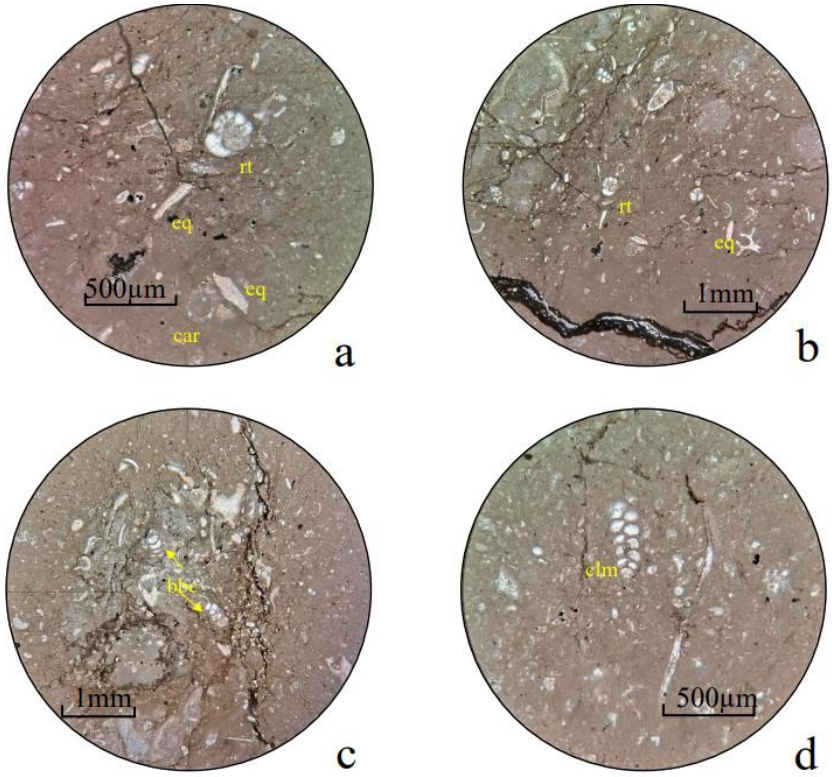
Fotografía 58

Calizas gris, textura mudstone limpia



Fotografía 59

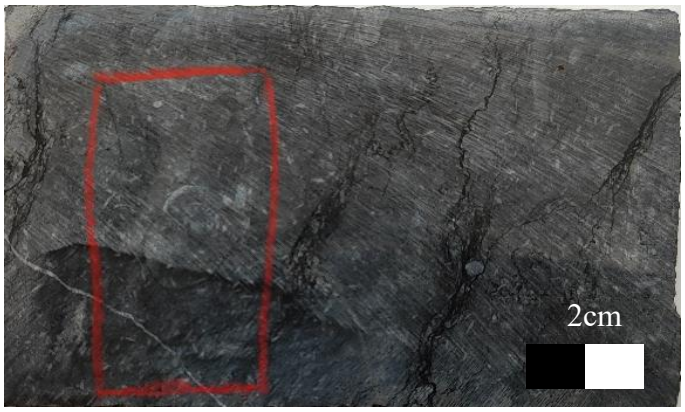
SD636490 NP YUM21-225 567.30 metros. Rotorbinella mesogeensis (a,b), Bulbobuccicrenata (c) y la Climacammina (d), carofitas-car (a).



3. **SD636467: B4**

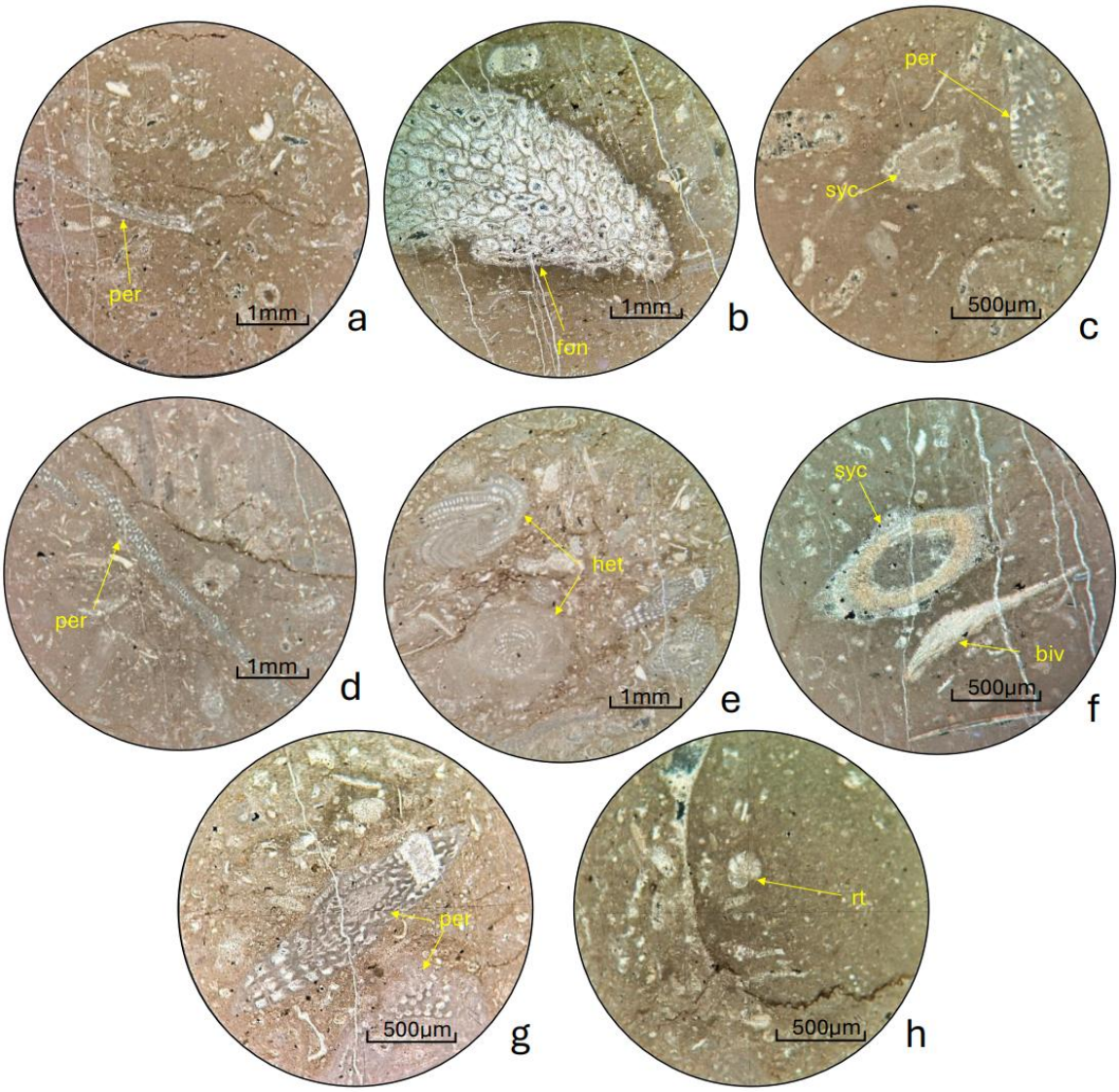
Fotografía 60

Calizas grises, textura wackestone a packstone



Fotografía 61

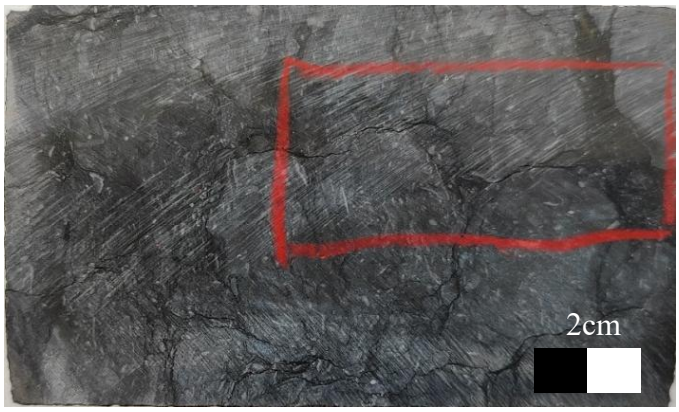
SD636467 NC YUM22-225 573.80 metros. Perouvianella peruviana-per (Steinmann)(c,d,g) , Heterostegina-het(e) y Rotorbinella mesogeensis-rt (h) , carofitas Sycidium-syc (c,f), bivalvos-biv (f) y cianobacterias Fontofilia furculata- fon (b).



4. **SD636468: B8a**

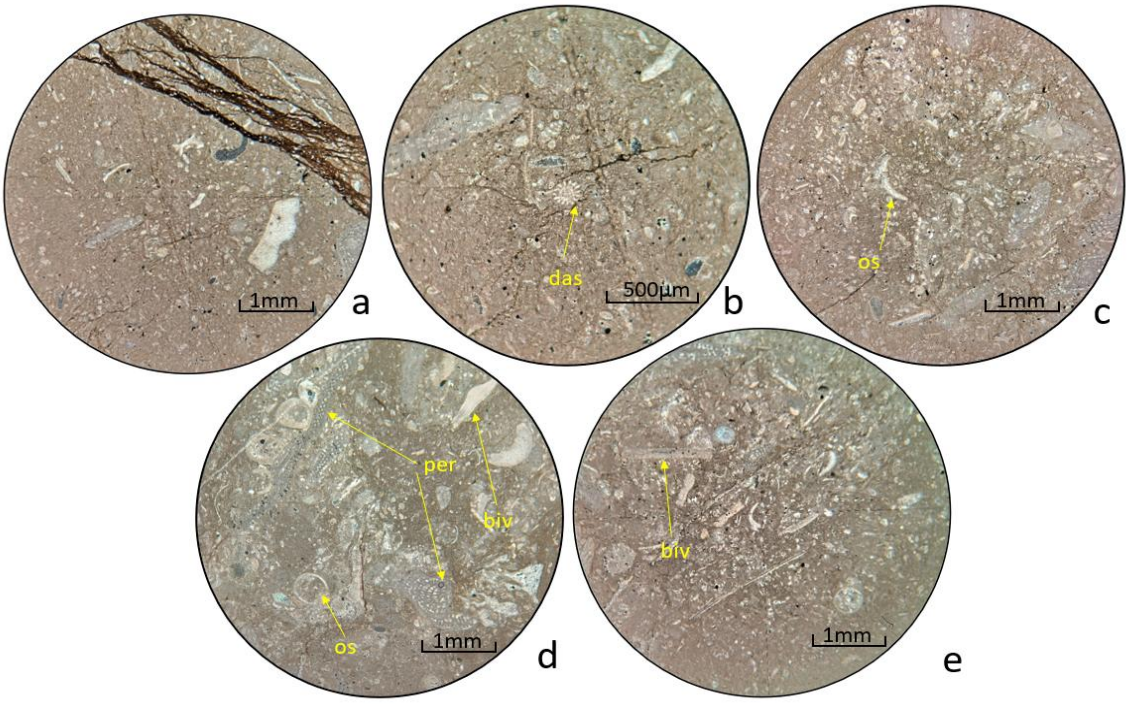
Fotografía 62

Caliza gris, textura packstone de grano fino



Fotografía 63

SD636468 NC YUM22-225 588.55 metros. Perouvianella peruviana-per (d,e), Dasyclads-das (a,b), ostrácodos-os (c,d,e) y bivalvos-biv (c,d,e).



5. SD636469: B8b

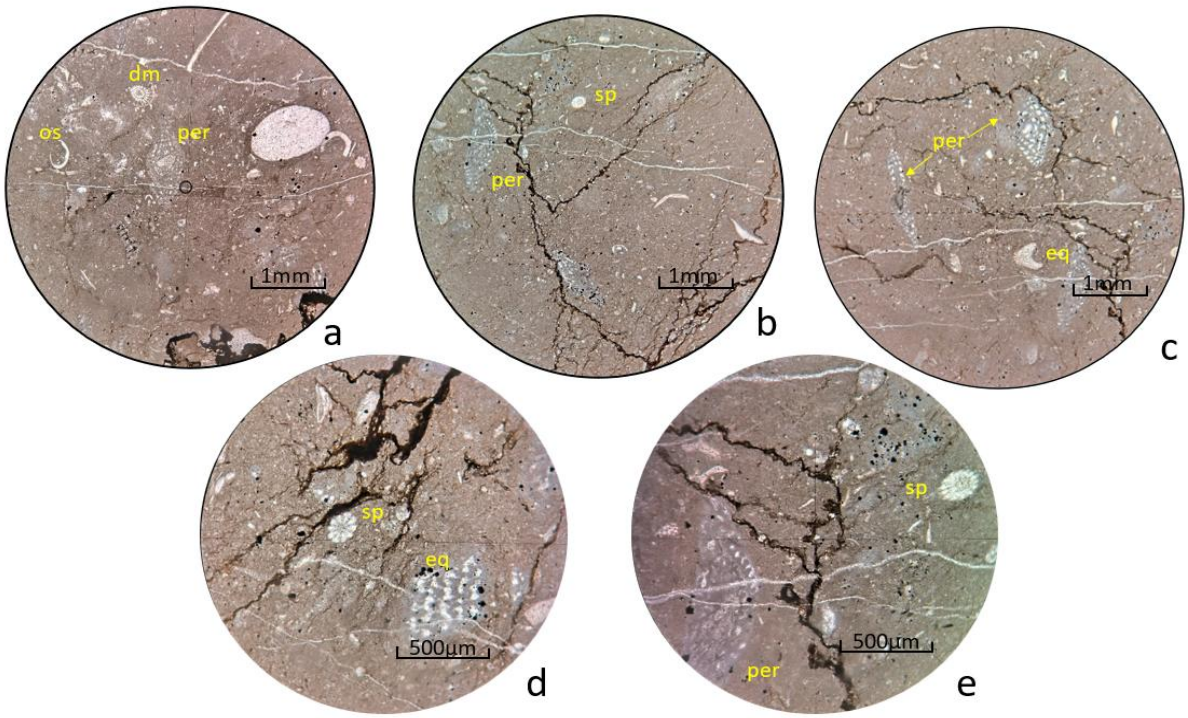
Fotografía 64

Caliza gris, textura mudstone a wackestone



Fotografía 65

SD636468 NC YUM22-225 588.55 metros. Perouvianella peruviana-per (d,e), Dasyclads-das (a,b), ostrácodos-os (c,d,e) y bivalvos-biv (c,d,e).



D. Formación Jumasha Superior-Nivel Margoso

1. SD636470: MG1

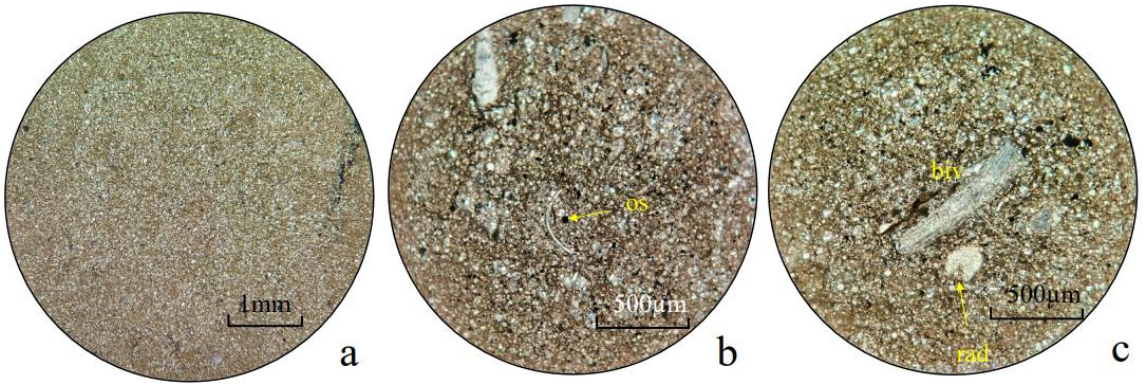
Fotografía 66

Calizas margosas gris oscura, textura mudstone



Fotografía 67

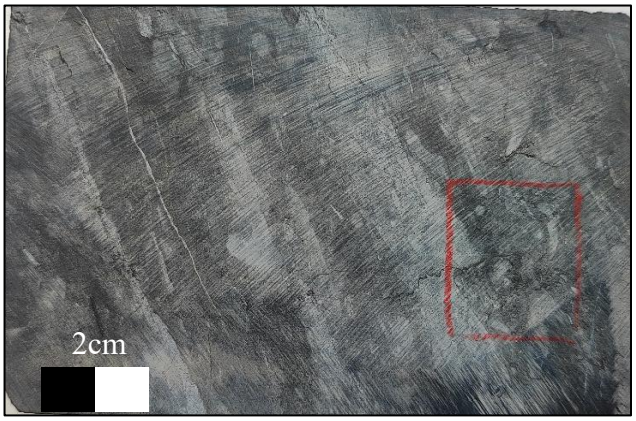
Calizas margosas gris oscura, textura mudstone



2. SD636471: MG2

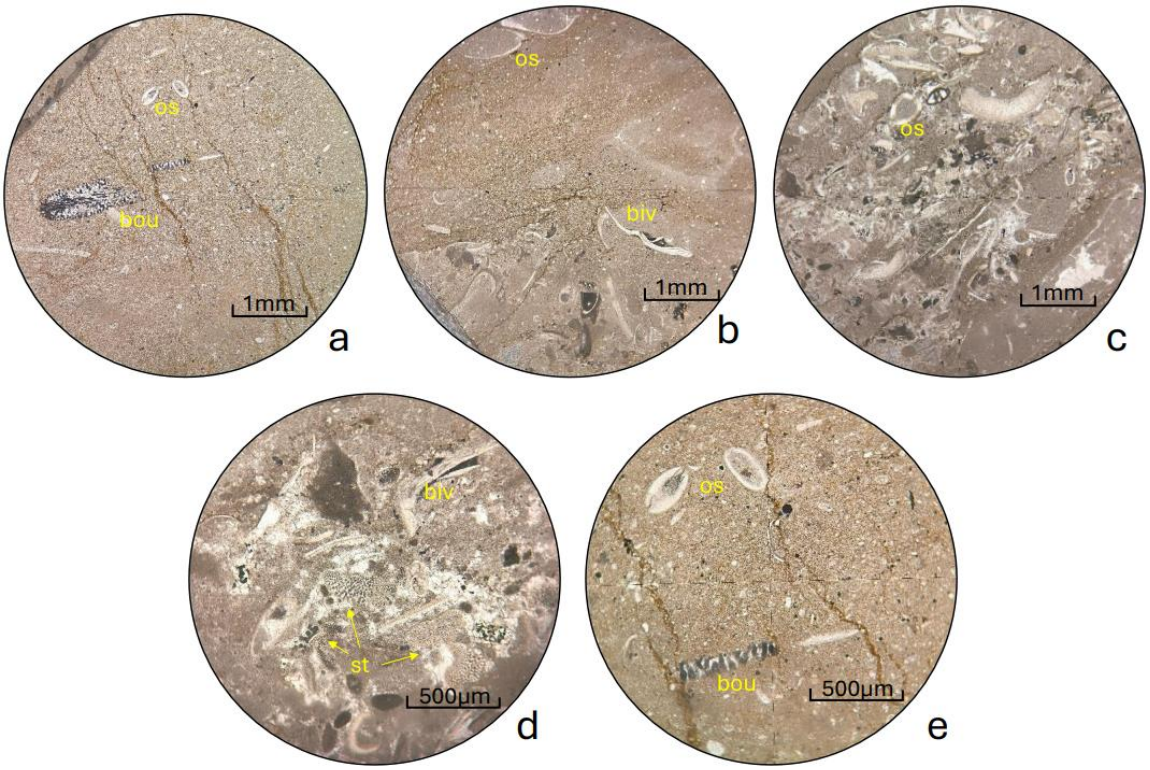
Fotografía 68

Calizas grises con niveles sucios de calizas margosas gris oscuro



Fotografía 69

SD636471 NP YUM22-229 355.92 metros. Ostrácodos-os (a,b,e), bivalvos-biv (b,c,d), algas verdes del tipo Boueina-bou (a) y Stromatoporoidea-st (d).



3. **SD636472: MG3**

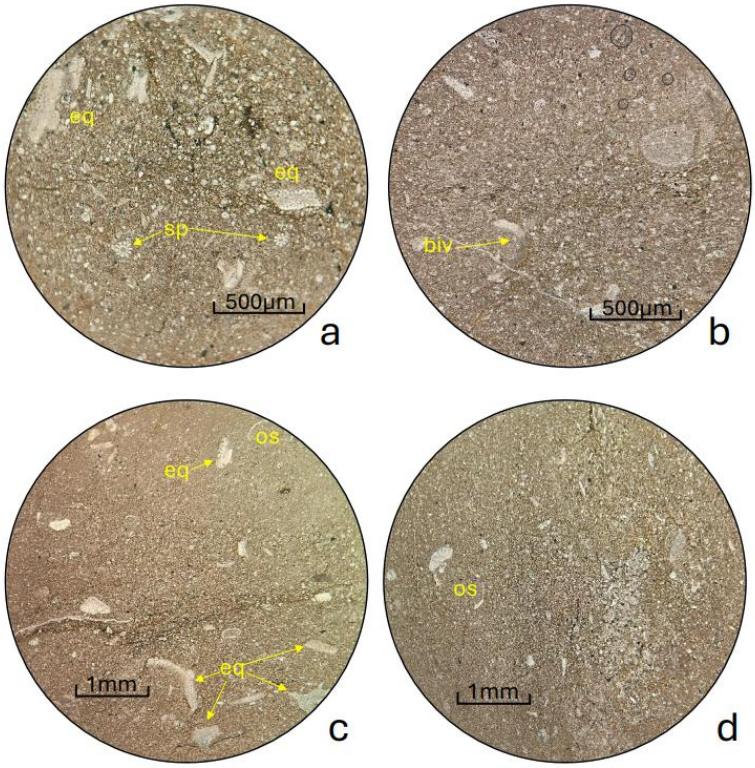
Fotografía 70

Caliza margosa fuertemente bioturbada



Fotografía 71

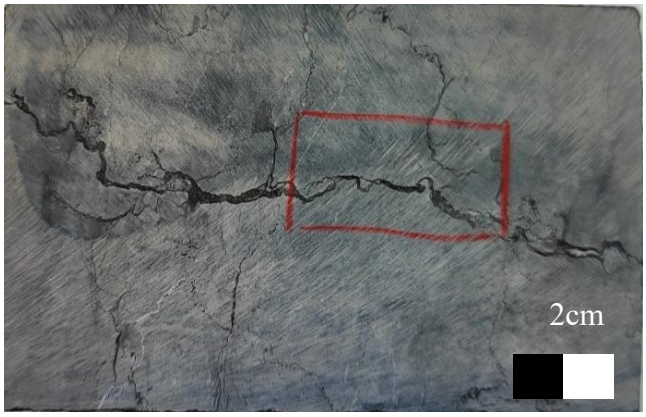
SD636472 NP YUM22-229 371.50 metros. Ostrácodos-os (c,d), bivalvos-biv (b), equinodermos-eq (a,c) y espinas de equinodermos-sp (a).



4. **SD636473: MG4**

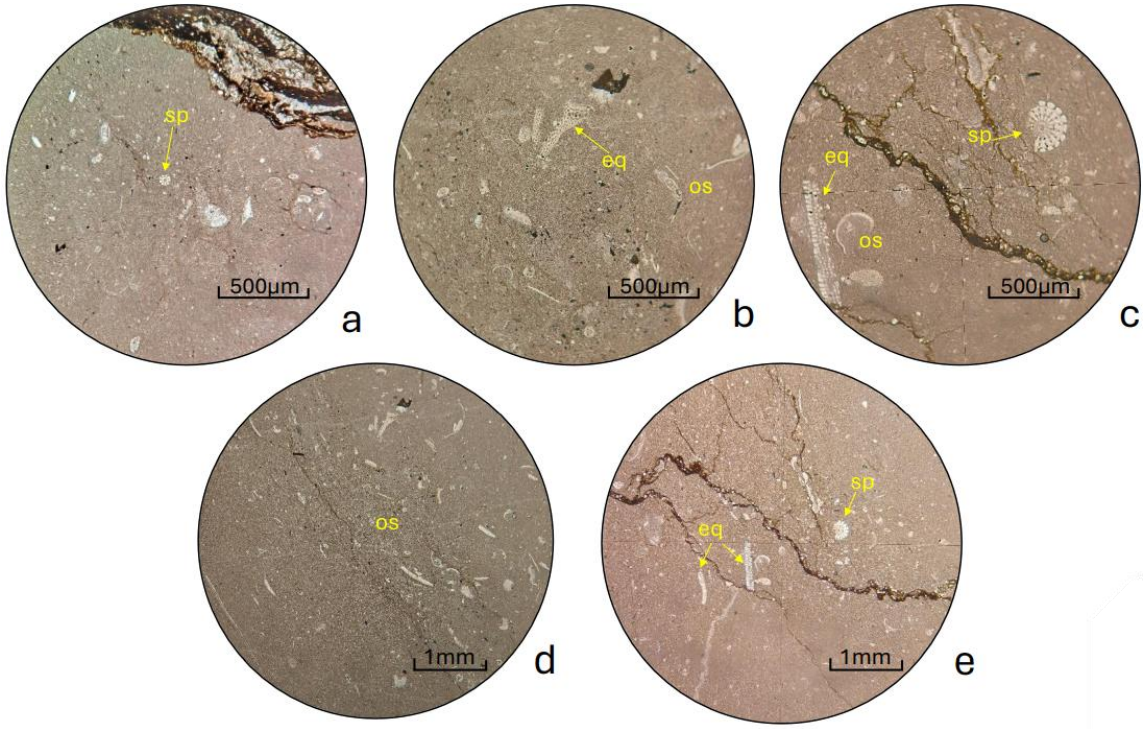
Fotografía 72

Caliza gris a gris clara textura mudstone



Fotografía 73

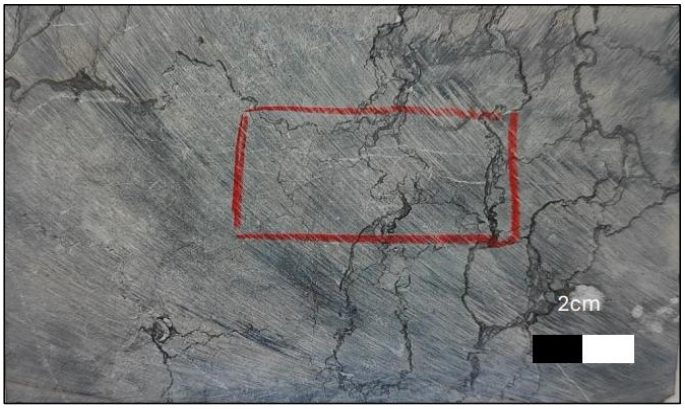
SD636473 NP YUM22-229 437.20 metros. Equinodermos-eq, espículas de equinodermos-sp, ostrácodos-os.



5. **SD636474: MG5**

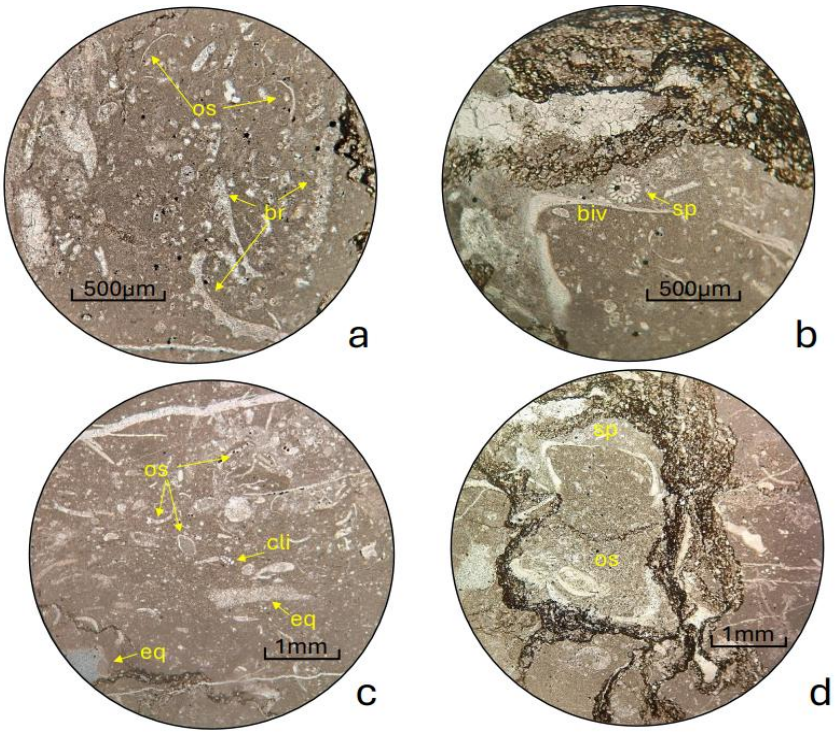
Fotografía 74

Caliza gris a gris clara textura mudstone



Fotografía 75

SD636474 NP YUM22-229 497.40 metros. Braquiópodos-br, ostrácodos-os, espinas de equinodermos-sp, equinodermos-eq, bivalvos-biv y Climacammina-cli



6. **SD636475: MG6**

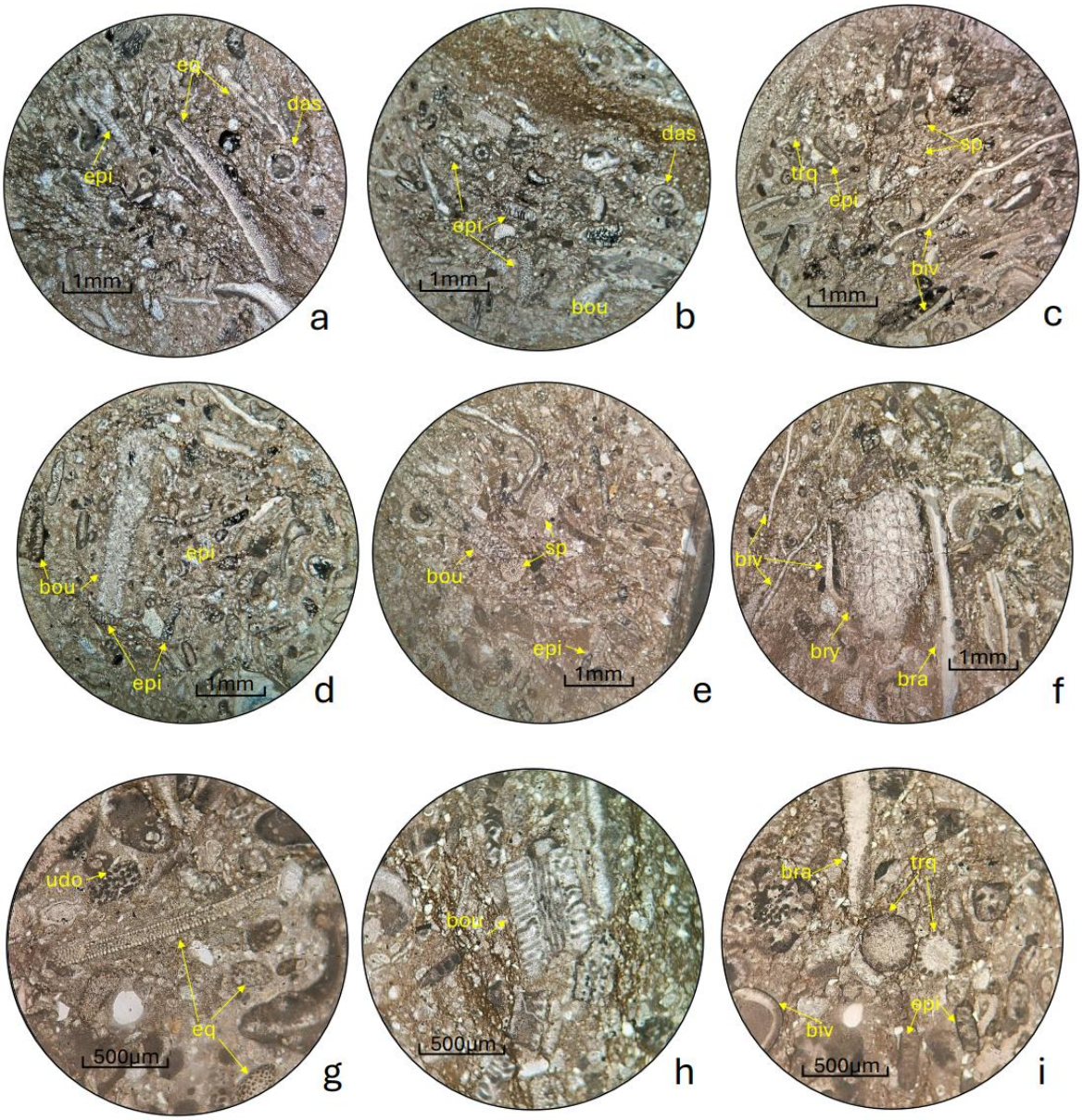
Fotografía 76

Caliza gris a gris oscura, margosa



Fotografía 77

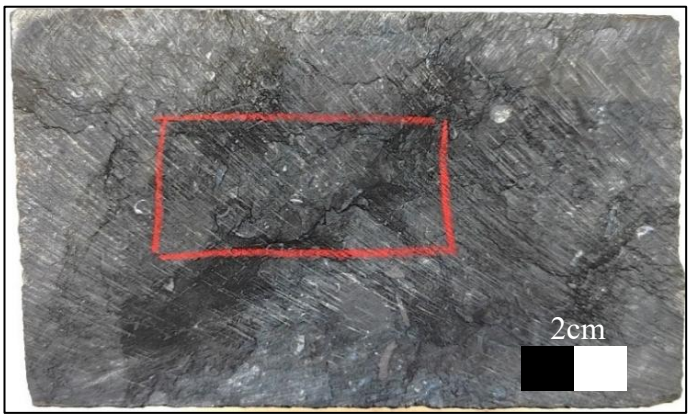
SD636475 NP YUM22-229 507.25 metros. Algas verdes Dasycladales-das Epimastopora-epi, Terquemella-trq, Udoteacens-udo, cianobacterias Fontofilia furculata- fon, Boueina-bou, braquiópodos-bra, bivalvos-biv, equinodermos-eq y espinas de equinodermos -sp.



7. SD636464: MG7

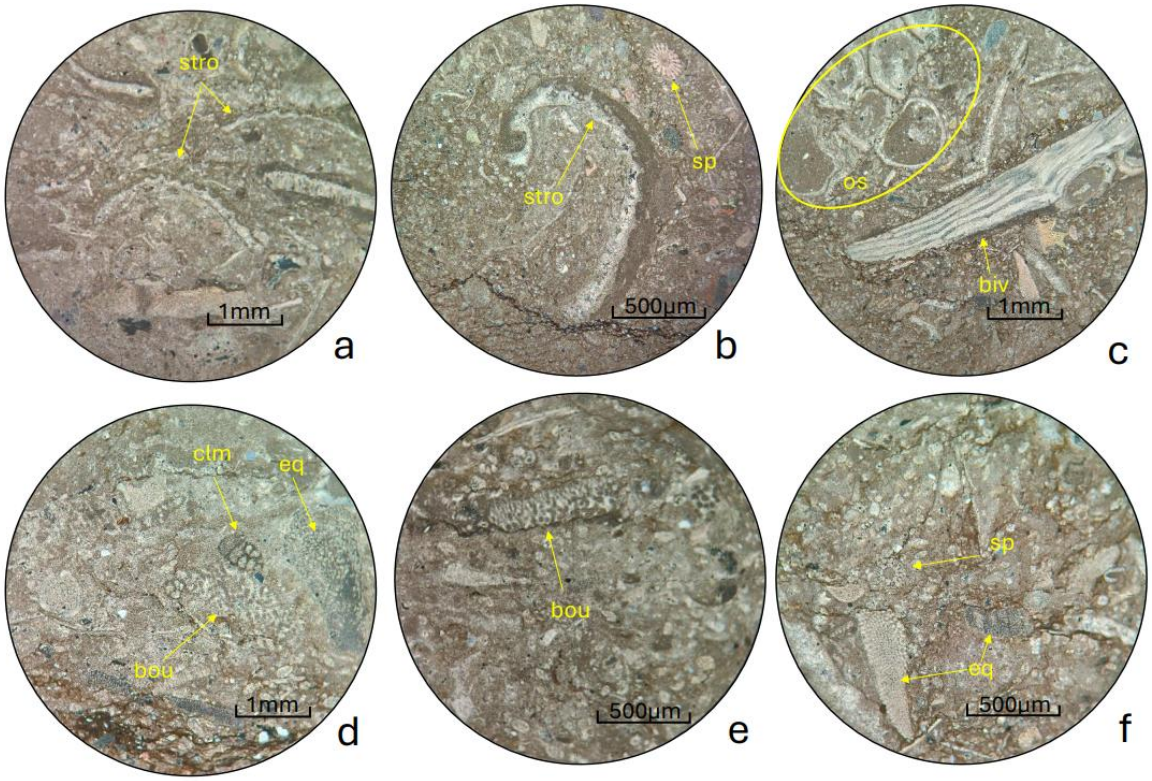
Fotografía 78

Caliza gris con moderado a fuerte venilleo de bitumen



Fotografía 79

SD636464 NC YUM22-225 550.40 metros. Strofomenida(a,b), Climacammina (d) y equinodermos (d,f), bivalvos-biv (c), ostrácodos-os (c) y Boueina-bou (d,e).

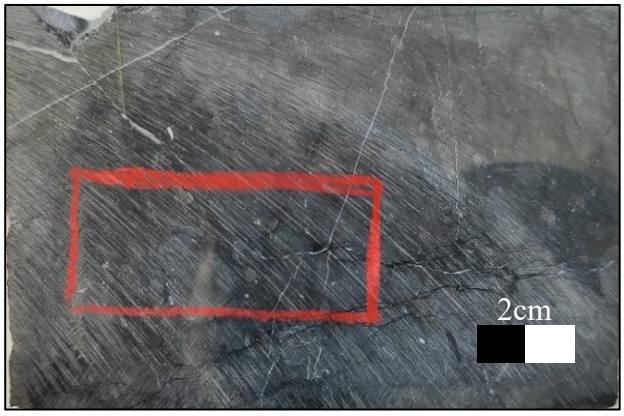


E. Formación Celendín

1. SD636476

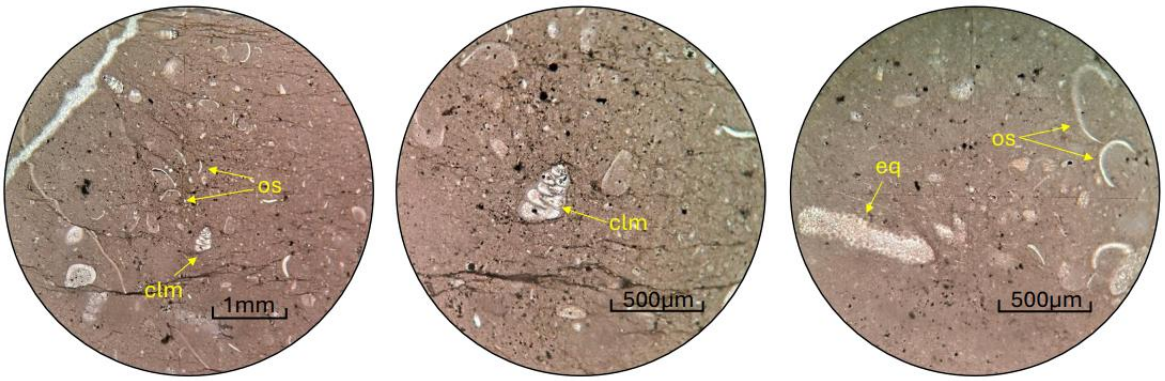
Fotografía 80

Caliza margosa gris oscuro bioturbada de textura wackestone



Fotografía 81

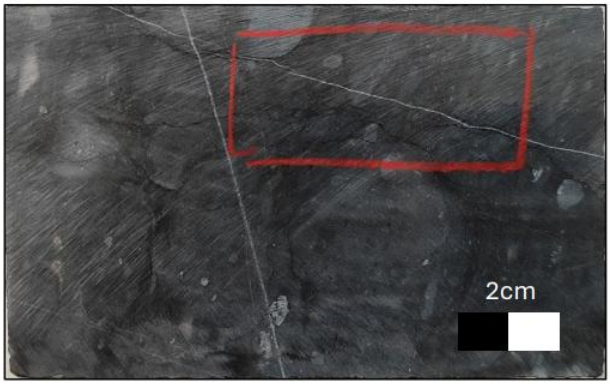
SD636476 NP YUM22-230 139.60 metros. Climacammina- clm, equinodermos-eq y ostracodos-os



2. **SD636477**

Fotografía 82

Margas gris oscuro bioturbada

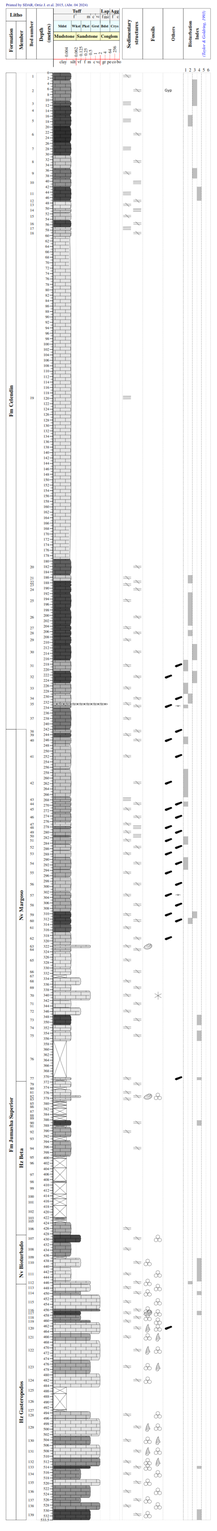


Fotografía 83

SD636477 NP YUM22-230 147.70 metros Bulbobuccicrenata-bbc (c), equinodermos-eq y ostrácodos-os.

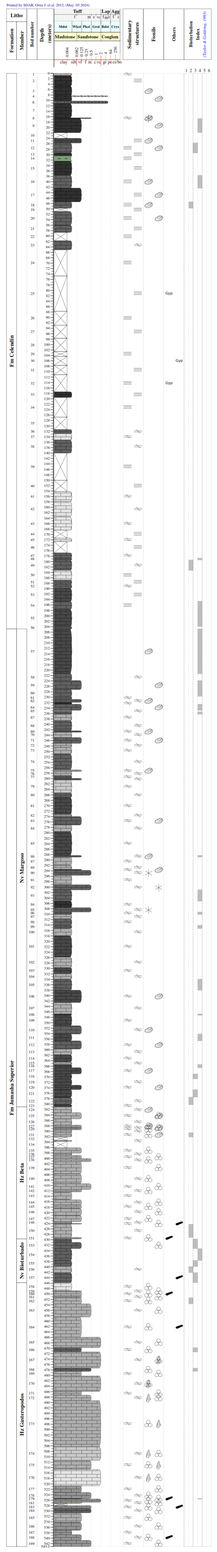
YUM20−191

escala 1:500



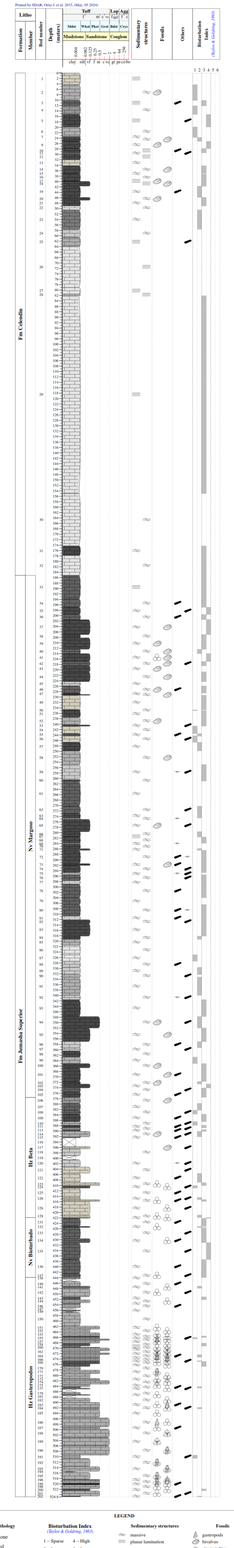
YUM20−192

escala 1:500



YUM21−193

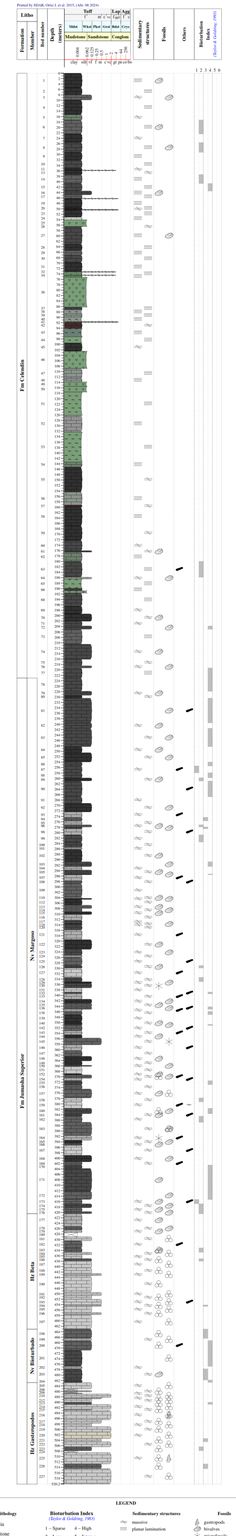
escala 1:500





YUM21−194

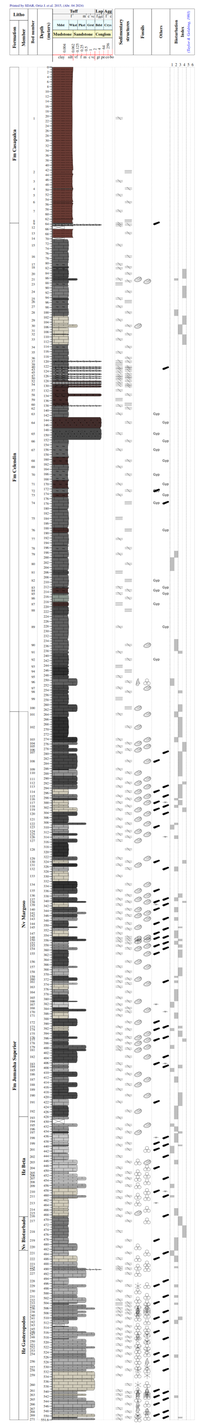
escala 1:500

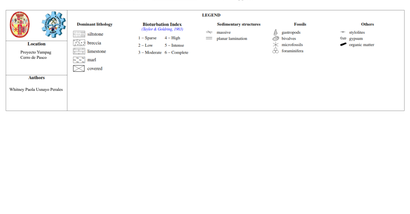




YUM21−195

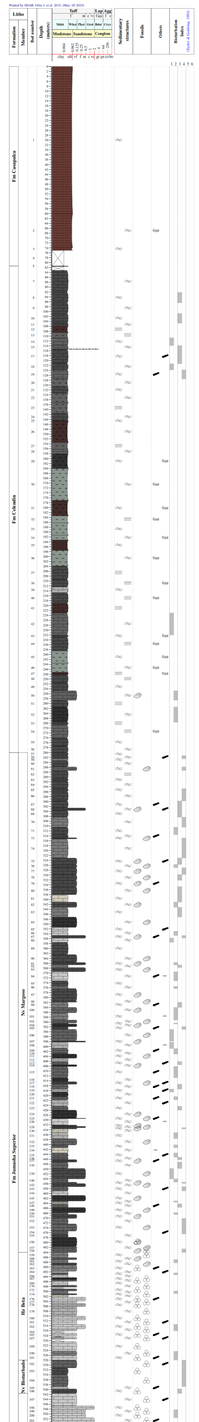
escala 1:500

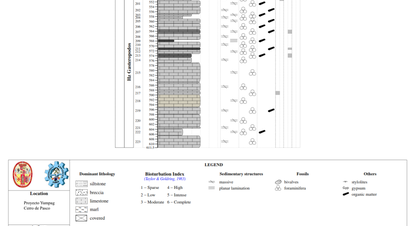




YUM21−197

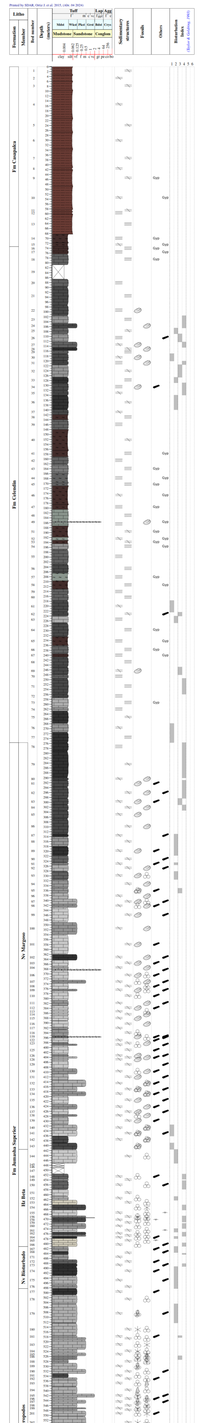
escala 1:500



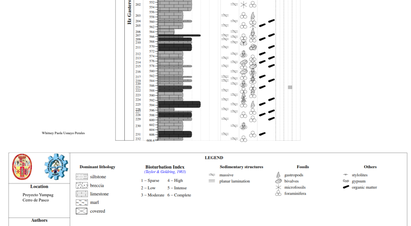


YUM21−223

escala 1:500

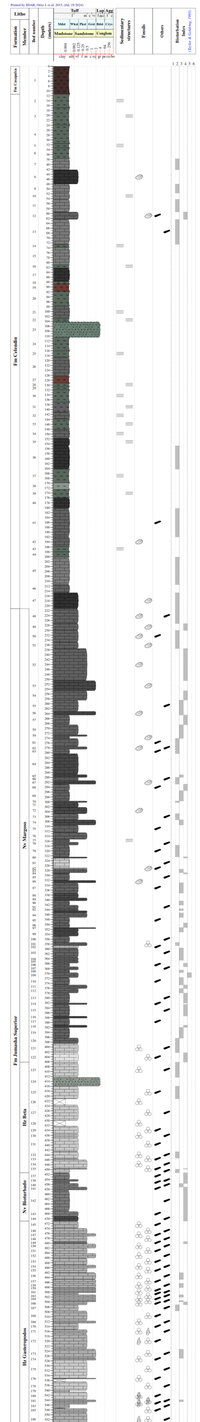


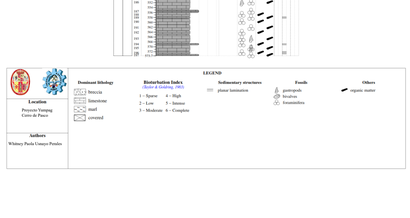
Whitney Paola Usnayo Perales



YUM22−283

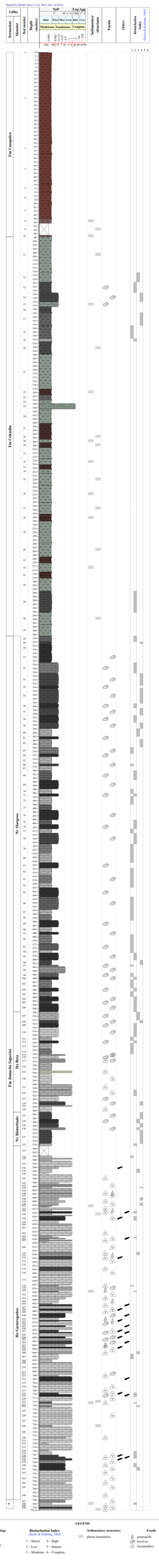
escala 1:500





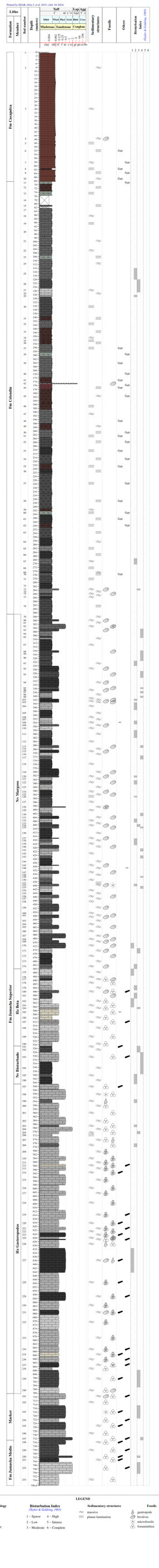
YUM22−230

escala 1:500



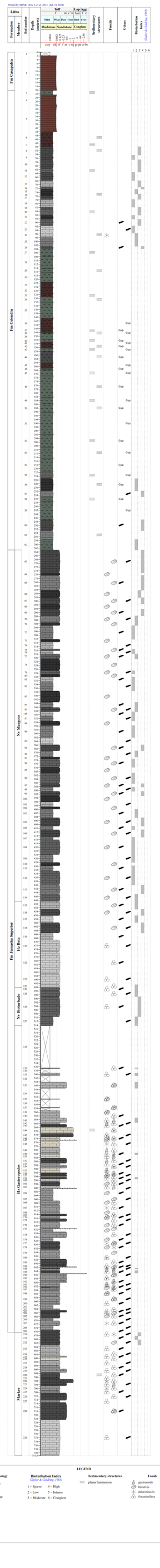
YUM21−222

escala 1:500



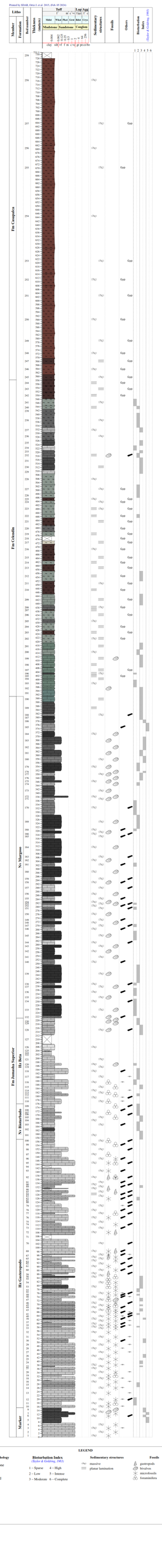
YUM22−237

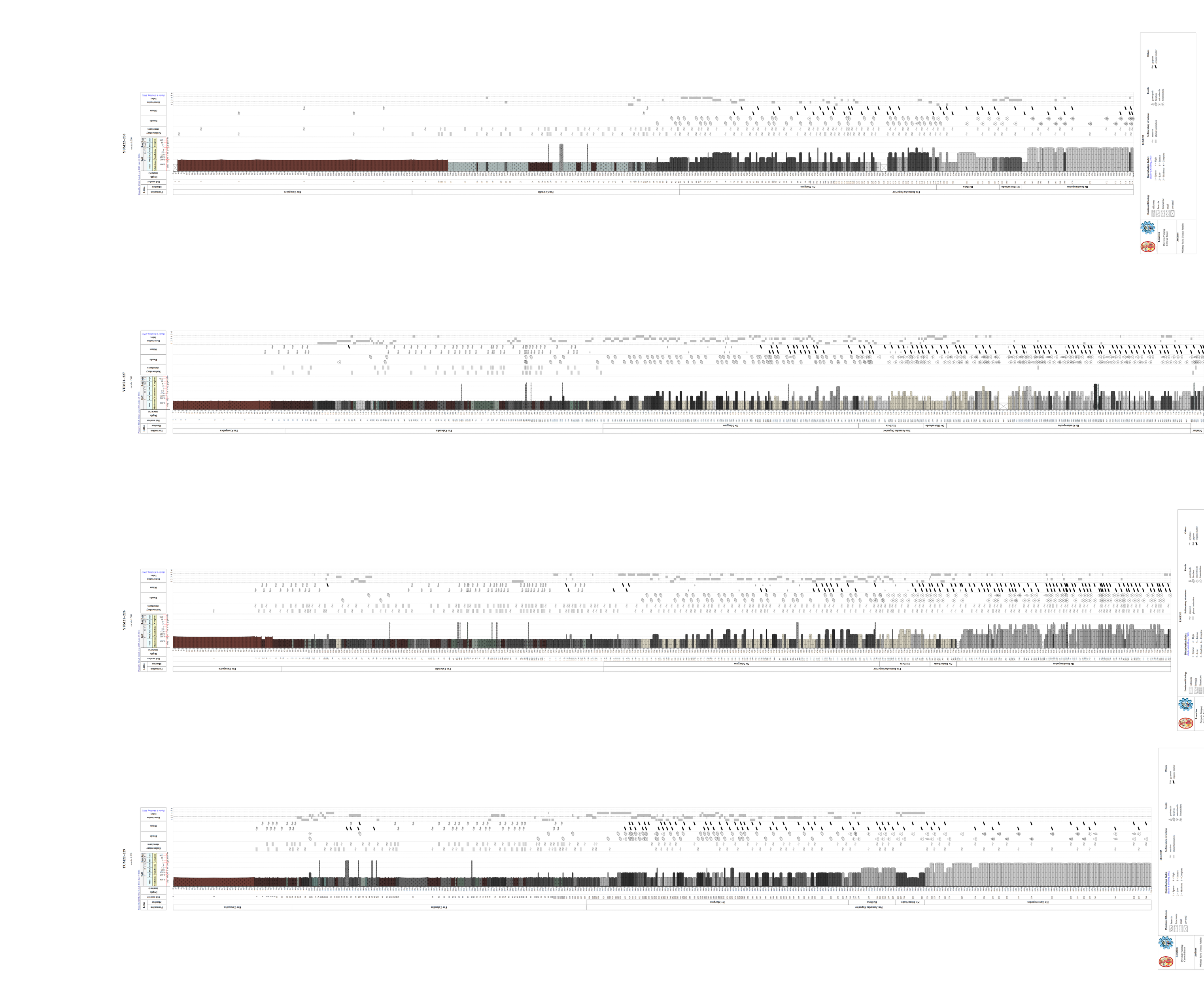
escala 1:500



YUM22−236

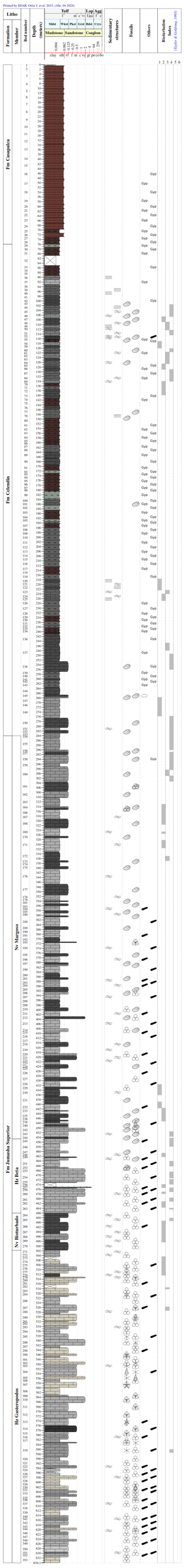
escala 1:500




YYM22–227
scale 1:500
Fe Exemplaire
Fe Chevalin
Fe Jeanne Impératrice
Fe Bonaventure
Fe Sagesse
Fe Bleu

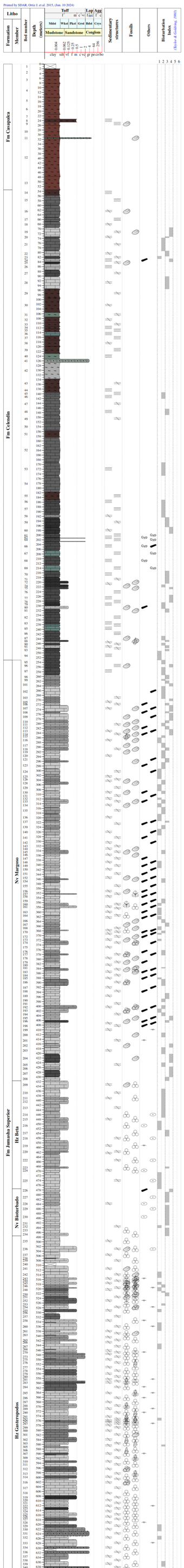
YUM21−225

escala 1:500



YUM21−228

escala 1:500



YUM21−199

escala 1:500

