

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Estudio sedimentológico de columnas estratigráficas de la Formación Jumasha en los alrededores de la mina Uchucchacua y del proyecto de plata Yumpag**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Geóloga**

**AUTORA:**

Valeria Olivera Torres

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo**

**AUTOR:**

Raúl Gonzalo Alarco Sánchez

**ASESORA:**

Dra. Silvia Rosas Lizárraga

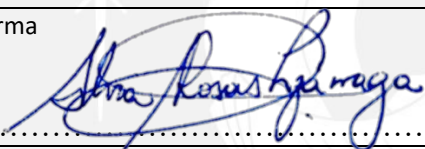
**Lima, Febrero, 2024**

## Informe de Similitud

Yo, Blanca Silvia Rosas Lizárraga, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesora de la tesis titulada **Estudio sedimentológico de columnas estratigráficas de la Formación Jumasha en los alrededores de la mina Uchucchacua y del proyecto de plata Yumpag**, de los autores Valeria Olivera Torres y Raúl Gonzalo Alarco Sánchez, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 10 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 25/1/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 25/1/2014

Rosas Lizárraga Blanca Silvia	
DNI: 06987148	Firma
ORCID: 0000-0002-9791-9499	

## ABSTRACT

The Jumasha Formation is a sequence of carbonate rocks which extends into central and northern Peru and is known to be host rock or to be related to some ore deposits, some of which have become projects or even mines.

This investigation presents a detailed sedimentological study of this carbonate sequence in the Daniel Alcides Carrión province in Pasco, where the Yumpag project is located. The general objective is to describe the sedimentary facies of this formation by making two stratigraphic columns and correlating them, allowing a better understanding of the sedimentary depositional system in the study area and defining possible new areas of interest.

Ten sedimentary facies related to four depositional environments within a carbonate ramp were identified, product of a large-scale transgressive event with other small-scale transgressive and regressive events. The Lower Jumasha is composed mainly of dolostones, fine-grained limestones and marls. The Middle Jumasha is composed of medium to coarse-grained peloidal and bioclastic limestones at the base and algae and miliolid-rich limestones to the top. The base of the Upper Jumasha is composed of coarse-grained *Peruvianella Peruviana*, miliolid, algae and gastropod-rich limestones, and its top is dominated by fine-grained limestones with planktonic foraminifera and echinoderms.

Each of these members is delimited by their respective marly marker sequences with silt-sized detrital quartz. The top of the Middle Jumasha and the base of the Upper Jumasha members would be the most prospective areas for possible economically interesting ore bodies, since due to their lithologies they are more prone to react with hydrothermal fluids, in addition to beds of less permeable rocks that prevent the transport of fluids acting as a seal for the mineralization.

Key words: Jumasha Formation, limestones, dolostones, Yumpag project, sedimentary facies

## RESUMEN

La Formación Jumasha es una secuencia de rocas carbonatadas que se extiende en el centro y norte del Perú y es conocida por ser roca huésped o estar relacionada a ciertos yacimientos minerales, algunos de los cuales se han convertido en proyectos o incluso minas.

Esta investigación presenta un estudio sedimentológico detallado de esta secuencia carbonatada en la provincia Daniel Alcides Carrión en Pasco, donde se encuentra el proyecto Yumpag. El objetivo general es describir las facies sedimentarias de esta formación levantando dos columnas estratigráficas y correlacionarlas, permitiendo entender de mejor manera el sistema de deposición sedimentario en el área de estudio y poder definir posibles nuevas áreas de interés.

Se identificaron 10 facies sedimentarias relacionadas a 4 ambientes de deposición dentro de una rampa carbonatada, producto de un evento transgresivo de gran escala con otros transgresivos y regresivos de menor escala. El Jumasha Inferior está compuesto principalmente de dolomías, calizas de grano fino y margas. El Jumasha Medio lo componen calizas de grano medio a grueso, peloidales y bioclásticas en la base y con algas y miliólidos en el techo. La base del Jumasha Superior está formada por calizas de grano grueso ricas en *Perouvianella Peruviana*, miliólidos, algas y gasterópodos, y su techo presenta predominancia de calizas de grano fino con foraminíferos planctónicos y equinodermos.

Cada uno de los miembros se encuentra delimitado por sus respectivas secuencias marcadoras margosas con contenido de cuarzo detrítico tamaño limo. Por otro lado, el techo del Jumasha Medio y la base del Jumasha Superior serían las zonas más prospectivas por eventuales cuerpos minerales de importancia económica, ya que por sus litologías son más propensas a reaccionar

con los fluidos hidrotermales, además de presentar horizontes de rocas menos permeables que evitan el paso de los fluidos, actuando como sello para la mineralización.

Palabras clave: Formación Jumasha, calizas, dolomías, proyecto Yumpag, facies sedimentarias

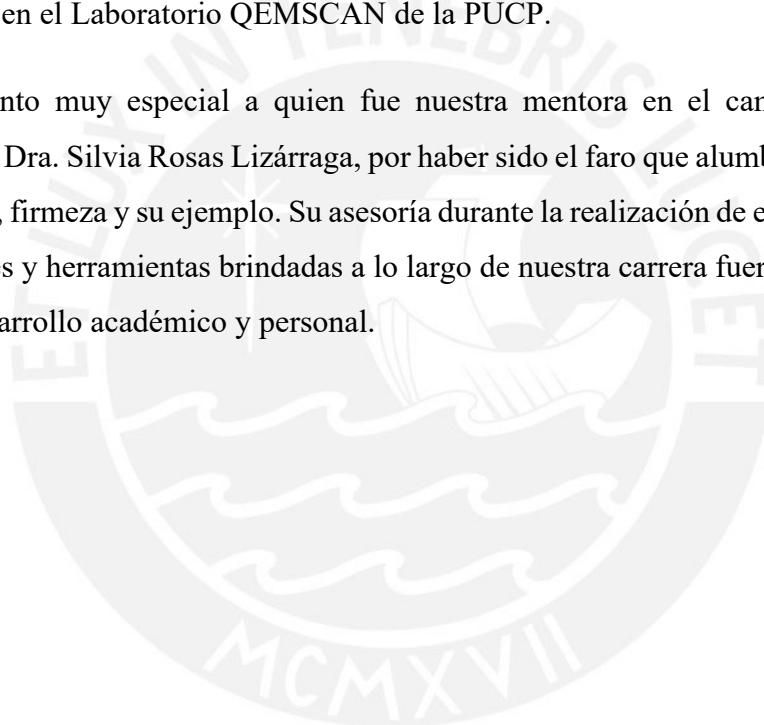


## AGRADECIMIENTO

A Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. por permitir la realización del trabajo de campo y otorgar los medios necesarios para desarrollar esta tesis, en particular a los Ings. Rolando Ligarda y Juan Carlos Salazar, por apostar por nosotros para realizar este trabajo, a los Ings. Juan Carlos Muñoz, María Ventura, Morayma Ruiz, Julio Gálvez, Julio Samaniego y Víctor Calsina, por compartir su invaluable conocimiento y a todo el personal de apoyo, especialmente a Carlos Farfán, por acompañarnos durante los trabajos de campo realizados.

Asimismo, agradecer al Ing. Pablo Valverde por el apoyo brindado en los análisis de XRD en el Centro de Caracterización de Materiales de la PUCP y durante la preparación de las secciones delgado-pulidas en el Laboratorio QEMSCAN de la PUCP.

Un agradecimiento muy especial a quien fue nuestra mentora en el camino de hacernos profesionales, la Dra. Silvia Rosas Lizárraga, por haber sido el faro que alumbró nuestros pasos con su sapiencia, firmeza y su ejemplo. Su asesoría durante la realización de esta tesis, así como las oportunidades y herramientas brindadas a lo largo de nuestra carrera fueron indispensables para nuestro desarrollo académico y personal.



## DEDICATORIA

A mis padres, Angélica Torres y Sixto Olivera, por caminar conmigo y levantarme siempre.  
Este y todos mis logros son para ustedes.

Valeria Olivera Torres

A mi familia por todo el apoyo brindado durante todos estos años.

Raúl Gonzalo Alarco Sánchez



## Tabla de contenidos

<b>1. Introducción</b> .....	1
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Ubicación geográfica.....	6
1.3. Objetivos .....	7
<i>1.3.1. Objetivo general</i> .....	7
<i>1.3.2. Objetivos específicos</i> .....	7
1.4. Hipótesis .....	7
1.5. Justificación.....	8
<b>2. Metodología</b> .....	8
2.1. Discusión de estudios previos.....	8
2.2. Trabajo de campo .....	8
2.3. Análisis de laboratorio .....	9
<i>2.3.1. Estudios petrográficos</i> .....	9
<i>2.3.1.1. Tinción con solución roja de alizarina</i> .....	10
<i>2.3.2. Difracción de polvo de roca (XRD)</i> .....	10
<b>3. Marco geológico</b> .....	12
3.1. Situación geodinámica .....	12
3.2. Geología Regional .....	16
<i>3.2.1. Berriasiano: Formación Oyón</i> .....	17
<i>3.2.2. Berriasiano a Aptiano: Grupo Goyllarisquizga</i> .....	18
<i>3.2.2.1. Formación Chimú</i> .....	18
<i>3.2.2.2. Formación Santa</i> .....	18
<i>3.2.2.3. Formación Carhuaz</i> .....	19
<i>3.2.2.4. Formación Farrat</i> .....	19
<i>3.2.3. Albiano Inferior a Medio: Formaciones Chúlec y Pariatambo</i> .....	20
<i>3.2.3.1. Formación Chúlec</i> .....	20
<i>3.2.3.2. Formación Pariatambo</i> .....	20
<i>3.2.4. Albiano Superior a Turoniano: Formación Jumasha</i> .....	21
<i>3.2.4.1. Miembro Jumasha Inferior</i> .....	21
<i>3.2.4.2. Miembro Jumasha Medio</i> .....	22
<i>3.2.4.3. Miembro Jumasha Superior</i> .....	24
<i>3.2.5. Coniaciano a Santoniano: Formación Celendín</i> .....	25
<i>3.2.6. Campaniano a Maestrichtiano: Formación Casapalca</i> .....	25



3.2.7. <b>Rocas ígneas</b> .....	26
3.2.7.1. <i>Oligoceno Superior: Rocas intrusivas</i> .....	26
3.2.7.2. <i>Mioceno Medio a Superior: Rocas intrusivas</i> .....	26
3.2.7.3. <i>Oligoceno a Mioceno Medio o Superior: Volcánicos Atalaya</i> .....	27
3.3. Geología del Yacimiento .....	27
<b>4. Clasificación de rocas carbonatadas</b> .....	28
4.1. Clasificación de Folk .....	29
4.2. Clasificación de Dunham .....	30
<b>5. Levantamiento de columna</b> .....	31
5.1. Columna Chinche.....	31
5.2. Columna Yumpag .....	33
<b>6. Descripción de facies sedimentarias</b> .....	33
6.1. Facies de rampa interna .....	34
<b>6.1.1. Zona intermareal a submareal</b> .....	34
6.1.1.1. <i>Facies con alto contenido detrítico (margas, calizas margosas y dolomías margosas)</i> .....	34
6.1.1.2. <i>Grainstones oolíticas con laminación algal</i> .....	35
<b>6.1.2. Zona submareal</b> .....	36
6.1.2.1. <i>Mudstones y wackestones con escasos bioclastos</i> .....	36
6.1.2.2. <i>Mudstones, wackestones y packstones bioclásticas</i> .....	36
6.1.2.3. <i>Grainstones de gasterópodos</i> .....	36
6.1.2.4. <i>Grainstones, grapestones y packstones peloidales</i> .....	37
6.1.2.5. <i>Grainstones y packstones de algas</i> .....	37
6.1.2.6. <i>Packstones y grainstones de Perouvianella peruviana y miliólidos</i> .....	37
6.2. Facies de rampa media.....	39
<b>6.2.1. Wackestones y packstones de fauna diversa de baja energía</b> .....	39
6.3. Facies de rampa exterior .....	40
<b>6.3.1. Mudstones a wackestones oscuras con escasos bioclastos</b> .....	40
<b>7. Descripción de rasgos diagenéticos</b> .....	41
7.1. Micritización .....	41
7.2. Cementación .....	41
7.3. Compactación .....	42
7.4. Reemplazamiento por sílice secundaria .....	42
7.5. Dolomitización.....	42
7.6. Dedolomitización.....	43
7.7. Pirita diagenética.....	43

<b>8. Análisis por XRD .....</b>	<b>45</b>
<b>9. Descripción litológica, sedimentaria y diagenética de las columnas .....</b>	<b>50</b>
9.1. Columna Chinche.....	50
<b>9.1.1. Miembro Jumasha Inferior .....</b>	<b>50</b>
<b>9.1.2. Miembro Jumasha Medio .....</b>	<b>58</b>
<b>9.1.3. Miembro Jumasha Superior.....</b>	<b>65</b>
9.2. Columna Yumpag .....	83
<b>9.2.1. Miembro Jumasha Medio .....</b>	<b>83</b>
<b>9.2.2. Miembro Jumasha Superior.....</b>	<b>87</b>
<b>10. Evolución sedimentaria de las columnas .....</b>	<b>103</b>
10.1. Columna Chinche.....	103
<b>10.1.1. Miembro Jumasha Inferior .....</b>	<b>103</b>
<b>10.1.2. Miembro Jumasha Medio .....</b>	<b>104</b>
<b>10.1.3. Miembro Jumasha Superior.....</b>	<b>107</b>
10.2 Columna Yumpag (taladro YUM-10-11).....	109
<b>10.2.1. Miembro Jumasha Medio .....</b>	<b>109</b>
<b>10.2.2. Miembro Jumasha Superior.....</b>	<b>111</b>
<b>11. Correlación sedimentaria .....</b>	<b>113</b>
<b>12. Discusión.....</b>	<b>117</b>
12.1. Facies y posible prospectividad .....	117
12.2. Secuencias marcadoras.....	118
<b>13. Conclusiones .....</b>	<b>119</b>
<b>14. Referencias .....</b>	<b>121</b>

## Índice de Figuras

Figura 1.1: Mapa de distribución de facies del Perú durante el Cretácico Medio. El rectángulo rojo indica el área de estudio. Modificado de Navarro-Ramírez <i>et al.</i> (2015). .....	1
Figura 1.2: Interpretación del desarrollo de la plataforma occidental durante el Albiano Superior. Tomado de Navarro-Ramírez <i>et al.</i> (2017). .....	4
Figura 1.3: Interpretación del desarrollo de la plataforma occidental durante el Cenomaniano Tardío. Tomado de Navarro-Ramírez <i>et al.</i> (2017). .....	5
Figura 1.4. Ubicación del área de trabajo para el levantamiento de la columna Chinche (10°30'28.98"S, 76°36'24.22"O, zona enmarcada en rojo) y del sondaje estudiado (10°35'15.35"S, 76°38'2.34"O), en el departamento Cerro de Pasco, Perú; así como la ubicación del proyecto Yumpag y de la mina Uchucchacua (Modificado de Google Earth, 2019). .....	6
Figura 2.1: Difractogramas de arcillas a través de agregados orientados al natural (azul) y con tratamiento de glicol (rojo). Tomado de Trzciński <i>et al.</i> (2015). .....	12
Figura 3.1: Mapa de la ubicación de la faja plegada y corrida del Marañón. La mina Uchucchacua se encuentra en el punto 38 dentro del rectángulo blanco. Modificado de Scherrenberg <i>et al.</i> (2016). ...	15
Figura 3.2: Mapa geológico regional de la zona NE del Cuadrángulo de Oyón, indicando la ubicación de las dos columnas levantadas (Columna Chinche y Yumpag). Modificado de Cobbing (1973). .....	16
Figura 3.3: Columna estratigráfica del área de estudio. Modificado de Jaillard (1986). .....	17
Figura 3.4: Sección geológica esquemática entre la mina Uchucchacua y el proyecto Yumpag. En rosa claro se muestran posibles intrusivos, los cuales generan los cuerpos mineralizados (Emilia, Luz, Bonnie y Camila). Tomado de Ligarda <i>et al.</i> (2021). .....	28
Figura 4.1: Clasificación práctica de rocas carbonatadas (Folk, 1959). Fuente web: <a href="http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89">http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89</a> .....	29
Figura 4.2: Clasificación detallada de rocas carbonatadas (Folk, 1959). Fuente web: <a href="http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89">http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89</a> .....	30
Figura 4.3: Clasificación de rocas carbonatadas (Dunham, 1962). Fuente web: <a href="http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89">http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89</a> .....	30
Figura 4.4: Clasificación adicional de rocas carbonatadas (Dunham, 1962). Fuente web: <a href="http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89">http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89</a> .....	31
Figura 5.1: Camino recorrido mostrando el inicio o base (A) y final o techo (B) de la Formación Jumasha (Modificado de Google Earth, 2019). .....	32
Figura 5.2: Base de la Formación Jumasha. Se observa contacto erosivo con la Formación Pariatambo. ....	32
Figura 5.3: Techo de la Formación Jumasha. Se observa discordancia angular con la Formación Celendín. ....	33
Figura 6.1: EX445158. XPL. Chinche JI. Marga. Presenta 60% de cuarzo detrítico de 40 micrones aproximadamente. Se observa un bioclasto indiferenciado ( <i>bc</i> ). La roca corresponde a la facies con alto contenido detrítico. ....	35
Figura 6.2: EX445177. PPL. Chinche JI. Dolomía <i>mudstone</i> margosa con 25% de cuarzo detrítico. Presenta algunos bioclastos de probables equinodermos ( <i>equi</i> ). La roca corresponde a la facies con alto contenido detrítico. ....	35

Figura 6.3: EX445169. XPL. Chinche JI. <i>Grainstone</i> de oolitos. Algunos se encuentran micritizados. Se observa también que algunos presentan bioclastos como núcleo. La roca corresponde a la facies de <i>grainstones</i> oolíticas con laminación algal. ....	36
Figura 6.4: EX445169. PPL. Chinche JI. Laminación algal típica de la facies de <i>grainstones</i> oolíticas con laminación algal.....	36
Figura 6.5: EX445152. XPL. Chinche JM. <i>Mudstone</i> con pocos bioclastos. Presenta algunos fragmentos de distintos bioclastos indiferenciados. Presenta <1% de cuarzo detrítico ( <i>cz</i> ). La roca corresponde a la facies de <i>mudstones</i> y <i>wackestones</i> con escasos bioclastos.....	38
Figura 6.6: SD576795. XPL. Yumpag JM. <i>Wackestone</i> con fragmentos de equinodermos ( <i>equi</i> ) y otros bioclastos indiferenciados. La roca corresponde a la facies de <i>mudstones</i> , <i>wackestones</i> y <i>packstones</i> bioclásticas.....	38
Figura 6.7. Yumpag JS. <i>Grainstone</i> de gasterópodos ( <i>gst</i> ) correspondiente a la facies de <i>grainstones</i> y <i>floatstones</i> de gasterópodos.....	39
Figura 6.8. EX445154. PPL. Chinche JM. <i>Grainstone</i> . Peloides ( <i>pel</i> ) y bioclastos ( <i>bc</i> ). Los peloides son en parte bioclastos micritizados. La roca corresponde a la facies de <i>grainstones</i> y <i>packstones</i> peloidales.....	39
Figura 6.9: EX445140. XPL. Chinche JM. <i>Packstone</i> bioclástica con predominancia de algas ( <i>alg</i> ). Se observan también bivalvos ( <i>biv</i> ), braquiópodos ( <i>bra</i> ) y otros. Presenta 1% de cuarzo detrítico. La roca pertenece a la facies de <i>grainstones</i> y <i>packstones</i> de algas.....	39
Figura 6.10: EX445124. XPL. Chinche JS. <i>Grainstone</i> con <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ) y algas ( <i>alg</i> ). La roca pertenece a la facies de <i>Packstones</i> y <i>grainstones</i> de <i>Perouvianella peruviana</i> y miliólidos. ....	39
Figura 6.11: EX445146. XPL. Chinche JM. <i>Wackestone</i> con briozoarios ( <i>bri</i> ), crinoideos ( <i>cri</i> ) y fragmentos de bivalvos. La roca pertenece a la facies de <i>wackestones</i> y <i>packstones</i> de fauna diversa de energía baja. ....	40
Figura 6.12: SD576771. PPL. Yumpag JS. <i>Mudstone</i> con muy escasos foraminíferos planctónicos ( <i>fp</i> ) y equinodermos ( <i>equi</i> ). Se observa estilolitización ( <i>est</i> ). La roca pertenece a la facies de <i>mudstones</i> a <i>wackestones</i> oscuras con escasos bioclastos. ....	40
Figura 6.13: Distribución de facies sedimentarias de la Formación Jumasha en la rampa carbonatada estudiada. Los colores son los mismos que se utilizan en las columnas de facies. Modificado de Nichols (2009).....	41
Figura 7.1: EX445128. XPL. Chinche JS. <i>Grainstone</i> bioclástica. Se observa micritización de los aloquemas (señalada por las flechas), formando peloides en ciertos casos. ....	44
Figura 7.2: EX445119. PPL. Chinche JS. Se observa cemento esparítico (señalado por las flechas) en la muestra y una venilla posterior. Los colores de interferencia del cemento son los mismos que el aloquema al cual encierran (crinoideo), por lo que podría tratarse de un cemento sintaxial. ....	44
Figura 7.3: EX445147. XPL. Chinche JM. <i>Grainstone</i> peletoidal. Se observa cierta deformación de algunos granos debido a la compactación (señalado por las flechas). ....	44
Figura 7.4: EX445173. Chinche JI. XPL. Reemplazamiento de la sección por calcedonia de origen secundario.....	44

Figura 7.5: CT-108. PPL. Chinche JI. Teñida con rojo de alizarina. Dolomitización parcial de la muestra, se observa el hábito romboédrico típico de la dolomita ( <i>dol</i> ) en los cristales sin teñir. La matriz teñida de rojo corresponde a calcita. ....	45
Figura 7.6: SD576771. PPL. Yumpag JS. Cristales de pirita ( <i>py</i> ) diagenética subhedral en una caliza <i>mudstone</i> .....	45
Figura 8.1: Difractograma de la muestra CT-76 y minerales identificados. ....	47
Figura 8.2: Difractograma de la muestra CT-84 y minerales identificados. ....	48
Figura 9.1: Columna estratigráfica y de facies del Miembro Jumasha Inferior en la zona de Chinche. ....	51
Figura 9.2: EX445186. XPL. Dolomía <i>mudstone</i> . Se observan moldes de venillas y bioclastos (señalados por flechas) que han sido disueltos.....	53
Figura 9.3: EX445185. XPL. Dolomía <i>mudstone</i> . Se observa el molde de bioclasto (señalado por flechas), el cual ha sido disuelto.....	53
Figura 9.4: EX445183. XPL. Dolomía calcárea <i>wackestone</i> con presencia de cuarzo detrítico tamaño limo, posibles equinodermos ( <i>equi</i> ), crinoideos ( <i>cri</i> ) y de chert.....	53
Figura 9.5: EX445182. PPL. Se observan dos tonalidades de micrita y algunos bioclastos. ....	53
Figura 9.6: EX445181. PPL. Wackestone con intraclastos ( <i>int</i> ), los cuales incluyen peloides y escasos granos de cuarzo detrítico. ....	54
Figura 9.7: EX445179. XPL. Marga. Los granos de cuarzo detrítico miden entre 20 a 40 micrones. .	54
Figura 9.8: EX445176. PPL. Gasterópodo ( <i>gst</i> ) y posible alga ( <i>alg</i> ). Se encuentran micritizados. ....	55
Figura 9.9: CT-138B. PPL. Sección teñida con rojo de alizarina. Dolomía calcárea. Se observan las coloraciones rojizas que corresponden a calcita en ciertas zonas. ....	55
Figura 9.10: EX445174. XPL. Bioclastos micritizados. Se observan posibles ostrácodos ( <i>ost</i> ), bivalvos ( <i>biv</i> ) y equinodermos. ....	55
Figura 9.11: EX445172. PPL. <i>Grapestone</i> de peloides. Se distinguen agregados de peloides o <i>grain lumps</i> ( <i>gl</i> ).....	56
Figura 9.12: EX445171. XPL. <i>Grainstone</i> . Se observan braquiópodos ( <i>bra</i> ) de gran tamaño. ....	56
Figura 9.13: EX445166. PPL. <i>Wackestone</i> de peloides ( <i>pel</i> ) y bioclastos indiferenciados ( <i>bc</i> ). ....	57
Figura 9.14: EX445165. PPL. <i>Grainstone</i> oolítica. Se observa ligero fracturamiento en algunas zonas (señalado con flechas). ....	57
Figura 9.15: EX445164. XPL. Dolomía calcárea <i>mudstone</i> con muy escasos bioclastos indiferenciados. Se observa una venilla de calcita (derecha).....	57
Figura 9.16: EX445163. XPL. <i>Packstone</i> de foraminíferos bentónicos ( <i>fb</i> ) y peloides ( <i>pel</i> ). Algunos aloquemas están micritizados.....	57
Figura 9.17: EX445161. XPL. Intercalaciones de niveles de marga y <i>mudstone</i> . La marga es predominante en la sección. Los granos de cuarzo miden entre 20 a 40 micrones.....	58
Figura 9.18: EX445160. XPL. <i>Wackestone</i> margosa. Posibles foraminíferos bentónicos ( <i>fb</i> ) y bivalvos en fragmentos. Los granos de cuarzo ( <i>cz</i> ) miden entre 20 a 40 micrones.....	58
Figura 9.19: Columna estratigráfica y de facies del Miembro Jumasha Medio en la zona de Chinche. ....	59

Figura 9.20: EX445157. XPL. <i>Grainstone</i> de peloides ( <i>pel</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ) y algas ( <i>alg</i> ). En la sección hay mayor presencia de cemento esparítico que de micrita. ....	60
Figura 9.21: EX445156. XPL. <i>Packstone</i> ligeramente margosa de bioclastos, principalmente miliólidos ( <i>mil</i> ) y peloides ( <i>pel</i> ). ....	60
Figura 9.22: EX445154. PPL. <i>Grainstone</i> de peloides ( <i>pel</i> ), algas ( <i>alg</i> ) y gasterópodos ( <i>gst</i> ). ....	61
Figura 9.23: EX445152. XPL. <i>Mudstone</i> con aspecto brechoso y atravesada en distintas direcciones por venillas de calcita. ....	61
Figura 9.24: EX445150. XPL. <i>Grainstone</i> de peloides y posibles algas ( <i>alg</i> ). Se observa micritización en los aloquemias. ....	61
Figura 9.25: EX445149. XPL. <i>Wackestone</i> de algas, equinodermos ( <i>equi</i> ) y bivalvos ( <i>biv</i> ). Se observa además, un posible bivalvo de gran tamaño. ....	61
Figura 9.26: EX445144. PPL. <i>Packstone</i> de peloides ( <i>pel</i> ), intraclastos ( <i>int</i> ) y algas ( <i>alg</i> ). Los intraclastos incluyen algas, otros bioclastos y peloides. ....	62
Figura 9.27: EX445143. PPL. <i>Grainstone</i> de oolitos micritizados y peloides. Vetilleo de calcita. ....	62
Figura 9.28: EX445142. PPL. <i>Wackestone</i> de equinodermos ( <i>equi</i> ), posibles braquiópodos ( <i>bra</i> ), crinoideos ( <i>cri</i> ) y bivalvos. Aloquemias fracturados. ....	63
Figura 9.29: EX445141. XPL. <i>Packstone</i> de algas ( <i>alg</i> ), peloides ( <i>pel</i> ) y fragmentos de bivalvos ( <i>biv</i> ). ....	63
Figura 9.30: EX445137. PPL. <i>Rudstone</i> de gasterópodos. La foto corresponde a una parte de la roca en donde predominan peloides y algas micritizadas. ....	64
Figura 9.31: EX445136. XPL. <i>Grainstone</i> de algas ( <i>alg</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ), foraminíferos bentónicos ( <i>fb</i> ) y peloides ( <i>pel</i> ). Fuerte micritización. ....	64
Figura 9.32: EX445134. PPL. <i>Wackestone</i> de equinodermos ( <i>equi</i> ), bivalvos y gasterópodos ( <i>gst</i> ). Algunos se encuentran fracturados. ....	64
Figura 9.33: EX445133. XPL. <i>Packstone</i> de equinodermos ( <i>equi</i> ), peloides, foraminíferos y fragmentos de bivalvos. 3% de cuarzo detrítico. ....	64
Figura 9.34: EX445132. XPL. <i>Packstone</i> con algas ( <i>alg</i> ), foraminíferos bentónicos ( <i>fb</i> ) y gasterópodos ( <i>gst</i> ) principalmente, los cuales se encuentran micritizados. ....	65
Figura 9.35: EX445131. XPL. <i>Wackestone</i> margosa de miliólidos, foraminíferos y bivalvos. Los granos de cuarzo son subredondeados a subangulosos y miden entre 20 a 40 micrones. ....	65
Figura 9.36: Columna estratigráfica y de facies del Miembro Jumasha Superior en la zona de Chinche. ....	66
Figura 9.37: EX445130. PPL. Caliza <i>grainstone</i> compuesta principalmente por peloides y miliólidos. ....	68
Figura 9.38: EX445129. PPL. Caliza <i>grainstone</i> principalmente compuesta por peloides ( <i>pel</i> ) y miliólidos ( <i>mil</i> ). Presencia de escasas algas. ....	68
Figura 9.39: EX445128. PPL. Caliza <i>grainstone</i> bioclástica. Se identifican miliólidos ( <i>mil</i> ), <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), algas y peloides producto de la micritización. El cemento es visiblemente esparítico. ....	68
Figura 9.40: EX445127. XPL. Calizas <i>packstone</i> con bioclastos, entre ellos, <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), algas ( <i>alg</i> ) y foraminíferos bentónicos ( <i>fb</i> ). Algunos peloides también son distinguibles. ....	70

Figura 9.41: EX445126. XPL. Caliza <i>grainstone</i> con bioclastos, entre ellos, miliólidos, <i>Perovianella peruviana</i> y algas. Los bioclastos aparecen tomando apariencia peloidal por la micritización.....	70
Figura 9.42: EX445125. PPL. Caliza <i>packstone</i> con bioclastos de <i>Perovianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ) y algas.....	70
Figura 9.43: EX445124. PPL. <i>Perovianella peruviana</i> , miliólidos y algas flotando en cemento esparítico de una caliza <i>grainstone</i> . ....	70
Figura 9.44: EX445124. PPL. Gasterópodo ( <i>gst</i> ) aislado en caliza <i>grainstone</i> con bioclastos principalmente de <i>Perovianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), miliólidos y algas ( <i>alg</i> ). La foto muestra micritización en la muestra. ....	71
Figura 9.45: EX445123. XPL. Caliza <i>wackestone</i> cuyos bioclastos principales son fragmentos de <i>Perovianella peruviana</i> ( <i>per</i> ) y de posibles bivalvos y algas.....	71
Figura 9.46: EX445122. PPL. Briozoarios ( <i>bri</i> ) y fragmentos de posibles bivalvos ( <i>biv</i> ) identificados en caliza <i>packstone</i> bioclástica.....	72
Figura 9.47: EX445122. PPL. Cemento esparítico local aislado en caliza <i>packstone</i> bioclástica. <i>Perovianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ), algas ( <i>alg</i> ) y equinodermos ( <i>equi</i> ) son distinguidos en esta imagen. ....	72
Figura 9.48: EX445121. XPL. Caliza <i>wackestone</i> con bioclastos indiferenciados fragmentados.....	72
Figura 9.49: EX445120. PPL. Caliza <i>grainstone</i> con algas y foraminíferos bentónicos como bioclastos principales. Se encuentran también ocasionales braquiópodos, posibles ostrácodos y equinodermos. 72	72
Figura 9.50: EX445119. PPL. Caliza <i>grainstone</i> compuesta principalmente algas ( <i>alg</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ) y otros foraminíferos bentónicos. Se identifican también posibles ostrácodos ( <i>ost</i> ). ....	73
Figura 9.51: EX445118. PPL. Presencia de un mineral color verde esmeralda en la zona de aglutinación de aloquemias de la caliza. Podría tratarse de una posible malaquita ( <i>mq</i> ). Además, se observan algas ( <i>alg</i> ) y foraminíferos planctónicos ( <i>fp</i> ).....	74
Figura 9.52: EX445117. XPL. Venilla de calcita de 0.75 mm (izquierda) y braquiópodo mostrando su hábito fibroso (derecha). ....	74
Figura 9.53: EX445117. XPL. Extraclastos de cuarzo ( <i>cz</i> ) en caliza <i>packstone</i> . Abundancia de foraminíferos planctónicos ( <i>fp</i> ) y presencia de algunos bioclastos indiferenciados. ....	74
Figura 9.54: EX445116. PPL. Caliza <i>packstone</i> bioclástica compuesta mayoritariamente por foraminíferos planctónicos ( <i>fp</i> ) y bentónicos ( <i>fb</i> ) y algunos fragmentos de bivalvos ( <i>biv</i> ).....	74
Figura 9.55: EX445115. XPL. Caliza <i>packstone</i> compuesta principalmente por foraminíferos planctónicos. Se aprecia un gasterópodo ( <i>gst</i> ) en la parte central izquierda de la imagen. ....	75
Figura 9.56: EX445114. XPL. Se aprecian foraminíferos planctónicos ( <i>fp</i> ) dominantes. Alga <i>Dasycladal</i> ( <i>alg</i> ) a la derecha y un miliólido ( <i>mil</i> ) junto a un equinodermo ( <i>equi</i> ) en la esquina superior izquierda de la imagen. ....	75
Figura 9.57: EX445113. PPL. Braquiópodo ( <i>bra</i> ) mostrando hábito fibroso. Los foraminíferos planctónicos predominan en la imagen. Presencia de algas ( <i>alg</i> ) y equinodermos ( <i>equi</i> ).....	76
Figura 9.58: EX445112. XPL. Cristales de óxidos ( <i>ox</i> ). Se muestra también chert en la parte inferior de la imagen. ....	76

Figura 9.59: EX445112. XPL. Posible bioturbación en caliza <i>packstone</i> , donde el espacio cavado por los organismos es vuelto a ser llenado (izquierda). Presencia de equinodermos ( <i>equi</i> ) y posibles braquiópodos ( <i>bra</i> ).....	76
Figura 9.60: EX445111. XPL. Colonia de briozoarios ( <i>bri</i> ).....	76
Figura 9.61: EX445110. PPL. Equinodermos ( <i>equi</i> ) y foraminíferos planctónicos ( <i>fp</i> ) en caliza <i>packstone</i> .....	77
Figura 9.62: EX445109. PPL. Foraminíferos planctónicos en caliza <i>packstone</i> . ....	77
Figura 9.63: EX445108. PPL. Colonia de briozoarios ( <i>bri</i> ) en caliza <i>packstone</i> . ....	78
Figura 9.64: EX445107. XPL. Algas ( <i>alg</i> ), equinodermos ( <i>equi</i> ) y demás bioclastos indiferenciados en caliza <i>packstone</i> a <i>wackestone</i> . Equinodermo muestra macla característica. ....	78
Figura 9.65: EX445105. PPL. Posible ostrácodo en caliza <i>wackestone</i> . ....	78
Figura 9.66: EX445104. XPL. Caliza <i>wackestone</i> con equinodermos ( <i>equi</i> ), fragmentos de bioclastos indiferenciados ( <i>bc</i> ) y extraclastos de cuarzo ( <i>cz</i> ). ....	78
Figura 9.67: CTF19. PPL. La lámina fue teñida a la mitad para fines comparativos. La mitad inferior confirma que la roca es una caliza y no una dolomía.....	79
Figura 9.68: CTF20. PPL. Lámina totalmente teñida, confirmando la presencia de calcita como mineral principal. ....	79
Figura 9.69: EX445103. XPL. Caliza <i>mudstone</i> . Algunos relictos de foraminíferos son distinguibles. ....	80
Figura 9.70: EX445102. PPL. Caliza <i>wackestone</i> con material detrítico. ....	80
Figura 9.71: EX445102. XPL. Cristales de cuarzo ( <i>cz</i> ) y plagioclasa ( <i>plg</i> ) angulosos y fragmentados en caliza <i>wackestone</i> . ....	80
Figura 9.72: EX445101. XPL. Dolomía calcárea <i>mudstone</i> con 3% de cuarzo. Lámina sin tinción. ..	80
Figuras 9.73 y 9.74: CTF22. PPL y XPL. Dolomía calcárea, al ser tenida presenta una escasa matriz de calcita ( <i>cal</i> ) (teñida en rojo) y cristales de dolomita ( <i>dol</i> ) (no teñidos). ....	81
Figura 9.75: Columna estratigráfica y de facies de la Formación Jumasha en la zona de Chinche.....	82
Figura 9.76: Columna estratigráfica y de facies del Miembro Jumasha Medio a partir del taladro YUM-10-11.....	84
Figura 9.77: SD576800. XPL. <i>Wackestone</i> de equinodermos ( <i>equi</i> ), algas ( <i>alg</i> ), braquiópodos ( <i>bra</i> ) y foraminíferos. ....	85
Figura 9.78: SD576799. XPL. <i>Packstone</i> de algas ( <i>alg</i> ), equinodermos ( <i>equi</i> ), gasterópodos ( <i>gst</i> ) y bivalvos. Hay fracturamiento de aloquemas. ....	85
Figura 9.79: SD576798. XPL. <i>Wackestone</i> de equinodermos, bivalvos y braquiópodos ( <i>bra</i> ) fracturados. Presencia de chert.....	86
Figura 9.80: SD576796. XPL. <i>Packstone</i> de algas ( <i>alg</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ), equinodermos ( <i>equi</i> ) y fragmentos de otros bioclastos. ....	86
Figura 9.81: SD576795. PPL. <i>Wackestone</i> margosa de foraminíferos, predominando <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), y equinodermos. 10% de extraclastos de cuarzo.....	86
Figura 9.82: SD576794. PPL. <i>Packstone</i> de foraminíferos ( <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ) y otros), equinodermos ( <i>equi</i> ) y briozoarios ( <i>bri</i> ). ....	86



Figura 9.83: SD576793. XPL. <i>Wackestone</i> margosa de equinodermos, bivalvos y foraminíferos. 25% de extraclastos subredondeados de cuarzo detrítico de entre 25 a 40 micrones. ....	87
Figura 9.84: Columna estratigráfica y de facies del Miembro Jumasha Superior a partir del taladro YUM-10-11. ....	88
Figura 9.85: SD576791. XPL. <i>Wackestone</i> ligeramente margosa con foraminíferos (miliólidos ( <i>mil</i> ) y otros). 8% de extraclastos de cuarzo detrítico. ....	90
Figura 9.86: SD576790. XPL. <i>Packstone</i> de foraminíferos, entre los que se encuentran <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ) y otros. ....	90
Figura 9.87: SD576789. PPL. <i>Packstone</i> de foraminíferos ( <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ) y otros) y algas. ....	90
Figura 9.88: SD576788. PPL. <i>Packstone</i> de foraminíferos ( <i>Perouvianella peruviana</i> y miliólidos), equinodermos y bivalvos. Algunos se encuentran fracturados. ....	90
Figura 9.89: SD576787. XPL. Caliza <i>grainstone</i> con peloides, miliólidos y <i>Perouvianella peruviana</i> . ....	92
Figura 9.90: SD576786. PPL. Caliza <i>floatstone</i> con bioclastos, entre ellos, <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ) y miliólidos ( <i>mil</i> ). Micritizada. ....	92
Figura 9.91: SD576785. XPL. Foraminíferos diversos en matriz esparítica. Entre ellos se distinguen abundantes miliólidos. La roca se identifica como una <i>grainstone</i> bioclástica. ....	93
Figura 9.92: SD576784. PPL. Caliza <i>grainstone</i> con peloides y miliólidos ( <i>mil</i> ) principalmente, <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ) y ocasionales algas ( <i>alg</i> ). Algunos bioclastos han perdido su estructura por la micritización. ....	93
Figura 9.93: SD576783. PPL. Caliza <i>packstone</i> con bioclastos, entre ellos, <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), miliólidos ( <i>mil</i> ), gasterópodos ( <i>gst</i> ) y ocasionales algas. Muestra predominancia de cemento esparítico sobre matriz micrítica. ....	93
Figura 9.94: SD576782. XPL. Gasterópodo ( <i>gst</i> ), algas ( <i>alg</i> ) y posibles ostrácodos ( <i>ost</i> ) en matriz micrítica. ....	93
Figura 9.95: SD576781. PPL. Caliza <i>grainstone</i> a <i>packstone</i> con gasterópodos, miliólidos ( <i>mil</i> ), peloides, <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), escasas algas y posibles braquiópodos ( <i>bra</i> ) y ostrácodos. 95	
Figura 9.96: SD576780. PPL. <i>Perouvianella peruviana</i> flotando en matriz micrítica. La roca se identifica como una caliza <i>floatstone</i> . ....	95
Figura 9.97: SD576779. PPL. Caliza <i>rudstone</i> con bioclastos, predominantemente <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ). Algunos aloquemas se encuentran totalmente micritizados. ....	96
Figura 9.98: SD576778. XPL. Caliza <i>grainstone</i> con predominancia de miliólidos y <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ). Los miliólidos se encuentran micritizados tomando la apariencia de peloides ( <i>pel</i> ). 96	
Figura 9.99: SD576777. PPL. Gasterópodo de 2.5mm. ....	96
Figura 9.100: SD576777. PPL. Caliza <i>grainstone</i> con bioclastos como <i>Perouvianella peruviana</i> , algas. Se distinguen también peloides en la muestra. ....	96
Figura 9.101: SD576777. XPL. Peloides ( <i>pel</i> ) en calizas <i>grainstone</i> . Cemento esparítico. Posible recristalización parcial de la roca por el tamaño de los cristales. ....	96
Figura 9.102: SD576776. PPL. Caliza <i>mudstone</i> sin bioclastos identificables. ....	96

Figura 9.103: SD576775. PPL. <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), equinodermos ( <i>equi</i> ), crinoideos ( <i>cri</i> ) y otros bioclastos en caliza <i>wackestone</i> . .....	97
Figura 9.104: SD576775. PPL. Matrices de distinta coloración podrían evidenciar posible bioturbación.....	97
Figura 9.105: SD576774. XPL. Caliza <i>wackestone</i> a <i>mudstone</i> con foraminíferos planctónicos, bentónicos ( <i>fb</i> ) y algunos relictos de <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ) micritizada en el centro. Se observan estilolitos.....	98
Figura 9.106: SD576773. XPL. Caliza <i>wackestone</i> con bioclastos, entre ellos, <i>Perouvianella peruviana</i> ( <i>per</i> ), foraminíferos planctónicos y fragmentos de equinodermos ( <i>equi</i> ).....	98
Figura 9.107: SD576772. XPL. Posibles bivalvos en corte transversal.....	98
Figura 9.108: SD576770. XPL. Caliza <i>packstone</i> con foraminíferos planctónicos ( <i>fp</i> ) y algas ( <i>alg</i> ) como bioclastos principales. Algunos fragmentos de equinodermos ( <i>equi</i> ) también son identificados. ....	100
Figura 9.109: SD576769. PPL. Caliza <i>packstone</i> bioclástica con abundantes fragmentos de equinodermos. La fábrica es caótica. ....	100
Figura 9.110: SD576769. PPL. Colonia de briozoarios.....	100
Figura 9.111: SD576769. PPL. Caliza <i>packstone</i> con foraminíferos bentónicos ( <i>fb</i> ) y planctónicos ( <i>fp</i> ), fragmentos de bivalvos ( <i>biv</i> ), ostrácodos y equinodermos ( <i>equi</i> ). La roca parece haber sufrido brechamiento. ....	100
Figura 9.112: SD576768. PPL. Caliza <i>packstone</i> bioclástica. Entre los bioclastos se encuentran abundantes algas ( <i>alg</i> ) y foraminíferos planctónicos ( <i>fp</i> ), algunos fragmentos de equinodermos ( <i>equi</i> ) y ocasionales miliólidos. ....	101
Figura 9.113: SD576768. XPL. Caliza <i>packstone</i> bioclástica, se distinguen mayoritariamente algas ( <i>alg</i> ), foraminíferos y fragmentos de equinodermos ( <i>equi</i> ). ....	101
Figura 9.114: SD576767. PPL. Caliza <i>packstone</i> con abundantes foraminíferos planctónicos y 3% de cuarzo. ....	101
Figura 9.115: SD576767. PPL. Caliza <i>wackestone</i> a <i>packstone</i> con foraminíferos planctónicos, posible ostrácodo ( <i>ost</i> ) y equinodermo ( <i>equi</i> ).....	101
Figura 9.116: Columna estratigráfica y de facies del Jumasha obtenida a partir del taladro.....	102
Figura 11.1: Correlación de facies de ambas columnas.....	114

## Índice de Tablas

Tabla 8.1: Posición estratigráfica y miembro al que pertenece cada muestra analizada por XRD. ....49



## 1. Introducción

Durante el Albiano al Turoniano, a lo largo del norte y centro del Perú, se depositaron las calizas y dolomías de la Formación Jumasha, extendiéndose desde Cajamarca hasta Cerro de Pasco (Navarro-Ramírez *et al.*, 2016). Esta formación se depositó en la secuencia carbonatada-siliciclástica que se desarrolló en la cuenca andina entre finales del Cretácico Inferior y el Cretácico Superior en el Perú, producto de un evento transgresivo de orientación NNO-SSE de gran escala, durante el Albiano (Figura 1.1) (Robert *et al.*, 2002; Navarro-Ramírez *et al.*, 2015; Navarro-Ramírez *et al.*, 2017).

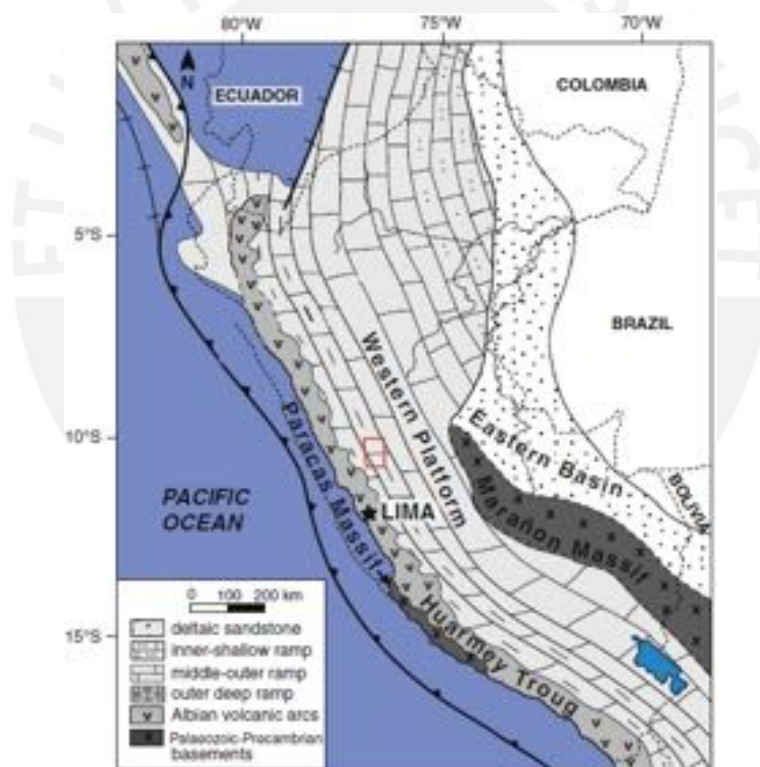


Figura 1.1: Mapa de distribución de facies del Perú durante el Cretácico Medio. El rectángulo rojo indica el área de estudio. Modificado de Navarro-Ramírez *et al.* (2015).

Los procesos tectónicos ocurridos entre el Cenomaniano y el Turoniano, generaron el aislamiento de la plataforma carbonatada, privándola de los aportes detríticos provenientes, principalmente, del Cratón Brasileño al este (Navarro-Ramírez *et al.*, 2017). De esta forma, el entorno pasó a convertirse en un ambiente con baja cantidad de sedimentos terrígenos,

permitiendo la formación de calizas puras y la proliferación de especies marinas asociadas (Navarro-Ramírez, 2017). Entre ellas se destaca la presencia de foraminíferos bentónicos como la *Perouvianella Peruviana* (Jaillard y Arnaud-Vanneau, 1993). Estas calizas, con alta pureza y bajo contenido detrítico, de edad Cenomaniana-Turoniana, parte de la Formación Jumasha, son las que recibieron mineralización económica, debido a su alta reactividad, albergando así depósitos minerales importantes en la Cordillera Central (Navarro-Ramírez, 2017).

La Formación Jumasha ha sido subdividida en tres miembros, i.e. Jumasha Inferior, Jumasha Medio y Jumasha Superior, donde cada uno presenta distintas características litológicas (Romani, 1982). Como se establece antes, esta formación es conocida por ser hospedante de yacimientos minerales, como por ejemplo, la mina subterránea de plata más importante del Perú: Uchucchacua, ubicada en la provincia de Oyón en el departamento de Lima. Se creía que solo el Miembro Jumasha Medio era el miembro que podía hospedar yacimientos minerales, no obstante, las recientes exploraciones en el proyecto Yumpag, a 6 kilómetros al NE de Uchucchacua, han permitido descubrir que el Miembro Jumasha Superior también contiene cuerpos minerales con altos contenidos de plata (Ligarda *et al.*, 2021).

La falta de mayor número de estudios dificulta los trabajos de exploración de zonas prospectivas, los cuales permitirían incrementar los recursos del proyecto Yumpag o incluso, los de otros proyectos asociados a calizas de esta formación, en otras localidades. Correlacionar la información de investigaciones existentes con la hallada al levantar columnas estratigráficas ubicadas estratégicamente, aportará nuevos alcances de relevancia para proyectos de exploración, presentes y futuros, en estas calizas.

### **1.1. Antecedentes**

En el distrito minero de Uchucchacua se han realizado diversas investigaciones que han servido de base para este trabajo, permitiendo a su vez, un mejor entendimiento de la génesis y

evolución sedimentológica de la Formación Jumasha, así como su implicancia en el proceso de mineralización de las calizas.

La Formación Jumasha (Albiano-Turoniano) se extiende desde el centro hasta el norte del Perú, y está compuesta por rocas carbonatadas producto de la proliferación de una gran plataforma carbonatada regional que se originó a partir de un evento transgresivo (Jacay, 2005; Navarro-Ramírez *et al.*, 2017). Esta unidad fue inicialmente definida por McLaughlin (1924) en el centro del Perú y descrita posteriormente por Wilson (1963) como una secuencia conformada por calizas y dolomías bioclásticas. Cobbing (1973) describió a la Formación Jumasha como la mayor unidad calcárea en el Perú central y le atribuyó un espesor promedio de 1200 metros. Un estudio más detallado permite a Romani (1982) subdividir esta formación en tres miembros según la litología: Jumasha Inferior, Jumasha Medio y Jumasha Superior, subdivisión que se mantiene vigente hasta la fecha. Jaillard (1986) le atribuyó edades desde el final del Albiano Medio-Superior hasta el Turoniano Superior, según estudios bioestratigráficos.

Según Navarro-Ramírez *et al.* (2017), el sistema sedimentario comenzó en el Albiano Superior, con la instalación de una plataforma regional carbonatada con un fuerte aporte de material terrígeno, proveniente de la erosión del Cratón Brasileño (Figura 1.2). Más adelante, el arco volcánico de Huarmey y el levantamiento del Bloque del Marañón, en el Cenomaniano Temprano, influyeron en la composición litológica de las calizas de la Formación Jumasha (Wilson, 1963), debido a que privaron a la plataforma occidental carbonatada del aporte continental brasilero (Navarro-Ramírez *et al.*, 2017).

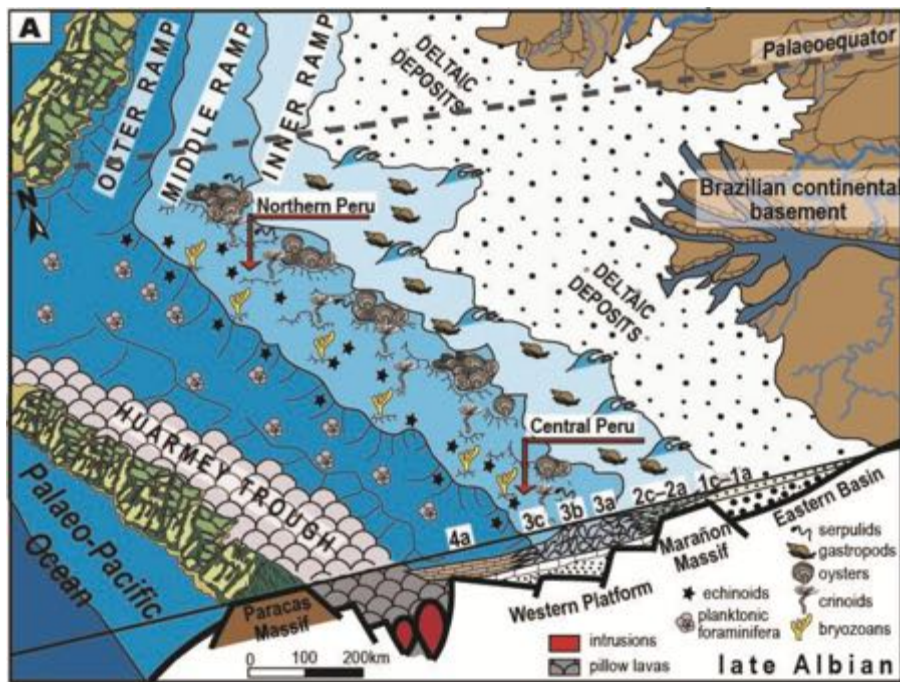


Figura 1.2: Interpretación del desarrollo de la plataforma occidental durante el Albiano Superior. Tomado de Navarro-Ramírez *et al.* (2017).

Este aislamiento generó, desde el Cenomaniano Tardío al Turoniano Temprano, un ambiente de aguas claras con un aporte bajo de contenido detrítico, permitiendo el desarrollo de foraminíferos bentónicos (Figura 1.3) que más tarde serían los constituyentes de calizas tipo *grainstone* puras (Navarro-Ramírez *et al.*, 2017; Consorti *et al.*, 2018). Estas rocas al estar al contacto con fluidos ácidos hidrotermales, generados por los eventos intrusivos del Oligoceno y Mioceno, fueron alteradas aumentando su porosidad y permeabilidad, convirtiéndose en rocas adecuadas para procesos mineralizantes (Carlotto, 2014; Navarro-Ramírez, 2017).

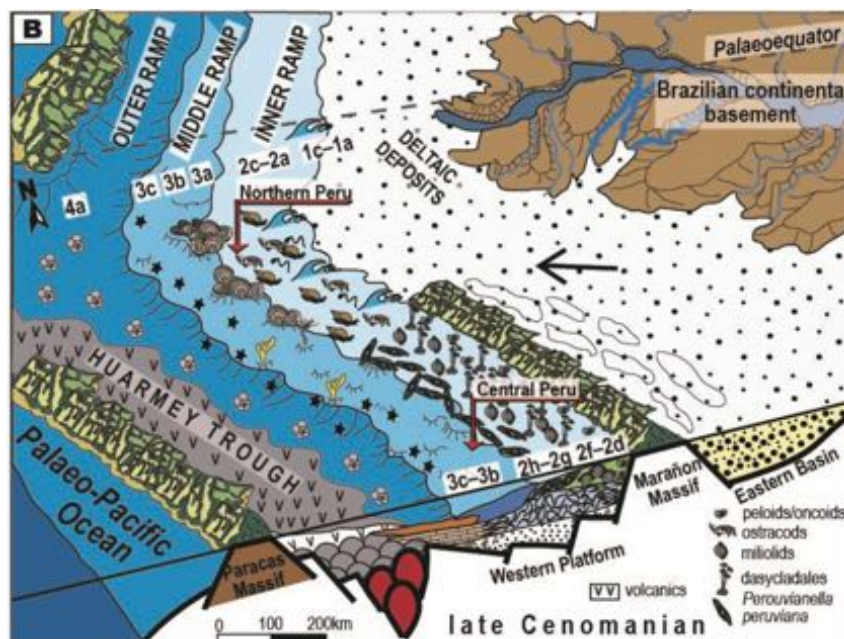


Figura 1.3: Interpretación del desarrollo de la plataforma occidental durante el Cenomaniano Tardío. Tomado de Navarro-Ramírez *et al.* (2017).

Durante el Coniaciano, debido a la erosión del Bloque del Marañón y de los volcánicos del Grupo Casma, la cuenca dejó de estar restringida, saturándose en material detrítico con alto contenido de arcillas y poco material bioclástico, dando lugar a la Formación Celendín (Jacay, 2005). Esta última, se comportó como un nivel impermeable o “roca sello” que impidió la salida de los fluidos hidrotermales durante los eventos intrusivos del Oligoceno y Mioceno (Ligarda *et al.*, 2021), produciéndose entonces una importante mineralización en las calizas de la Formación Jumasha, que hoy en día albergan la mena en el distrito minero de Uchucchacua (Escalante, 2008; Navarro-Ramírez, 2017).

Gracias a las exploraciones *brownfield* realizadas por la Compañía de Minas Buenaventura, en los alrededores de la mina Uchucchacua, se pudo descubrir un cuerpo de alta ley de plata en la estructura mineralizada “Camila”, la cual es un conjunto de cuerpos minerales, con un complejo sistema de fallas interconectadas, hospedados en el Miembro Jumasha Superior. Se trata de un descubrimiento importante, ya que se pensaba que el Miembro Jumasha Medio era el único miembro de la formación que podía contener mena. (Ligarda *et al.*, 2017;



2021). A partir de este descubrimiento, resulta necesario un estudio a detalle de las rocas hospedantes, así como la elaboración de nuevas columnas litoestratigráficas, como las que se presentan en esta tesis.

## 1.2 Ubicación geográfica

El área de estudio se ubica en el departamento de Pasco. La columna Chinche se ubica a 8.5 km al noreste del proyecto Yumpag y a 10 km al oeste del distrito de Yanahuanca, en la provincia Daniel Alcides Carrión en Pasco, entre 3700 a 3850 msnm (Figura 1.4). Adicionalmente, se estudió un sondaje obtenido aproximadamente a 1.2 km al sureste del proyecto Yumpag.

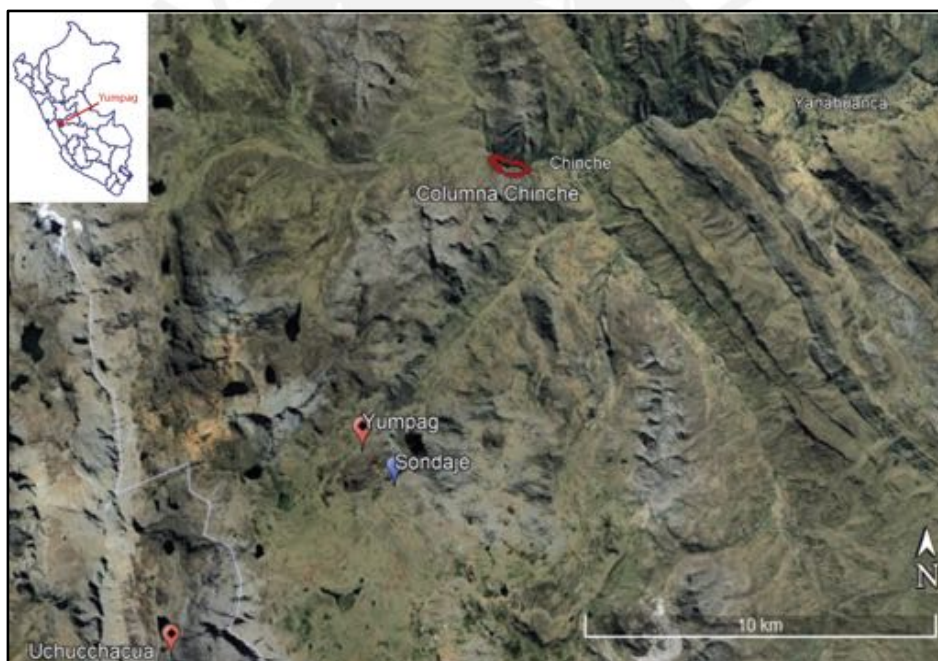


Figura 1.4. Ubicación del área de trabajo para el levantamiento de la columna Chinche ( $10^{\circ}30'28.98''S$ ,  $76^{\circ}36'24.22''O$ , zona enmarcada en rojo) y del sondaje estudiado ( $10^{\circ}35'15.35''S$ ,  $76^{\circ}38'2.34''O$ ), en el departamento Cerro de Pasco, Perú; así como la ubicación del proyecto Yumpag y de la mina Uchucchacua (Modificado de Google Earth, 2019).

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Describir las facies de la Formación Jumasha en las columnas estratigráficas levantadas, usando la información obtenida en el muestreo de campo y en los análisis de laboratorio, y, hacer correlaciones con resultados de estudios previos, que permitan entender el sistema de deposición sedimentario en el área de estudio. Este análisis permitirá ampliar el conocimiento de la geología local del proyecto Yumpag y aportará información, mediante la correlación de las columnas, que permitirá definir nuevas áreas de interés.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Describir los afloramientos de la Formación Jumasha, reconociendo sus distintos miembros y características litológicas.
- Elaborar dos columnas estratigráficas con los datos recogidos en el campo y los obtenidos en un sondaje, describiendo a detalle las litologías.
- Realizar un estudio petrográfico de facies sedimentarias de las muestras recolectadas, utilizando microscopía óptica, tinción con rojo de alizarina y difracción de rayos-X.
- Correlacionar ambas columnas para generar información de base en la ubicación de posibles zonas de interés económico en el área de estudio.

### **1.4. Hipótesis**

El estudio de las columnas estratigráficas levantadas en los alrededores del proyecto Yumpag permitirá ampliar los conocimientos geológicos de la Formación Jumasha, los cuales podrán aportar a la generación de nuevas áreas prospectivas por eventuales cuerpos minerales económicamente interesantes.

## **1.5. Justificación**

En la zona central del Perú, la Formación Jumasha alberga importantes depósitos polimetálicos de Ag, Cu, Zn y Au, como el caso de la mina Uchucchacua, cerca de la cual se ubica el Proyecto Yumpag de más reciente descubrimiento, cuya génesis, facies y dimensiones aún están en estudio.

La importancia de identificar, delimitar y correlacionar las facies sedimentarias de las rocas carbonatadas de la Formación Jumasha, radica en que ello permite comprender la evolución sedimentaria de la cuenca, lo que aportaría en la focalización de trabajos en las rocas prospectivas por mineralización económica.

## **2. Metodología**

### **2.1. Discusión de estudios previos**

El trabajo inicia con la búsqueda de información en investigaciones realizadas en la zona de estudio, que permiten comprender el contexto geológico en que se depositaron las rocas de la Formación Jumasha. De esta forma, se tiene una base sólida de conocimientos previos, necesaria para desarrollar el trabajo de campo y de gabinete.

### **2.2. Trabajo de campo**

Se realizó una salida de campo durante 15 días a los alrededores del proyecto Yumpag entre los meses de agosto y septiembre del año 2021, en colaboración con la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. Se contó con el apoyo de ingenieros seleccionados por la Compañía para asesorar el trabajo de campo.

La zona escogida para el levantamiento de la columna en Chinche, denominada “Columna Chinche” en adelante, tiene aproximadamente 1 km de potencia y se encuentra lo

suficientemente expuesta para realizar un levantamiento a detalle, con mediciones cada metro. Esto permitió identificar litologías, así como determinar las potencias de cada uno de los tres miembros de la Formación Jumasha en el área de estudio, reconociendo las secuencias marcadoras entre ellos. Simultáneamente al levantamiento, se recolectaron alrededor de 200 muestras, incluyendo aquellas seleccionadas para los estudios en sección delgada, tinción con rojo de alizarina y difracción de rayos-X.

Posteriormente se realizó una visita a la Planta Procesadora Industrial Río Seco, en Huaral, durante 6 días, en el mes de febrero del año 2022, en donde se logueó a detalle un sondaje, realizado aproximadamente a 1.2 km del proyecto Yumpag. Este sondaje abarca 383.10 metros de la Formación Jumasha, comprendiendo el Miembro Jumasha Superior y parte del Miembro Jumasha Medio. Se seleccionaron 34 muestras para hacer estudios en sección delgada. La columna estratigráfica de este sondaje se denomina “Columna Yumpag” en adelante.

## **2.3 Análisis de laboratorio**

### ***2.3.1. Estudios petrográficos***

Las muestras recolectadas en el trabajo de campo, pasaron por una selección para escoger las más representativas, de las cuales, se elaboraron 86 secciones delgadas de la Columna Chinche, a lo cual se sumaron 34 secciones correspondientes al logueo realizado en Río Seco. Estas secciones fueron preparadas en un laboratorio externo con el apoyo de Compañía de Minas Buenaventura y fueron analizadas bajo microscopía óptica, con luz polarizada, en el laboratorio de microscopía de la carrera Ingeniería Geológica de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), utilizándose particularmente el microscopio Leica DM2500 P. Posteriormente, se seleccionaron 15 muestras para preparar secciones delgado-

pulidas, en el laboratorio QEMSCAN de la PUCP, para determinar el porcentaje de dolomitización aplicando tinción con una solución de rojo de alizarina.

#### *2.3.1.1. Tinción con solución rojo de alizarina*

Este método se usa para lograr una distinción entre calcita y otros carbonatos, como la dolomita. Para esto se necesita preparar una solución con HCL (1/8N) y el producto químico alizarina en polvo (Dihidroxiantraquinona, C<sub>14</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub>).

Para obtener HCl (1/8N) se agrega agua destilada al HCl (25%):

13ml HCl (25%) + 87ml H<sub>2</sub>O = 100ml HCl (1N)

100ml HCl (1N) + 700ml H<sub>2</sub>O = 800ml HCl (1/8N)

Para obtener la solución de alizarina se necesita disolver 0.2g de alizarina en 200 ml HCl (1/8N).

Una vez preparada la solución de alizarina, se sumerge en ella la sección delgado-pulida durante 50 segundos. Finalmente se enjuaga con agua destilada. Como resultado se tiñe la calcita de color rojo, mas no la dolomita u otros carbonatos. Se recomienda teñir la mitad de la sección, para tener la otra mitad de comparación.

#### *2.3.2. Difracción de polvo de roca (XRD)*

Se prepararon 9 muestras para ser analizadas por difracción de rayos X (XRD) con el fin de identificar posible presencia de arcillas u otros minerales. Las muestras escogidas fueron reducidas con el triturador de quijadas y, posteriormente, cuarteadas con cuarteadores rotatorios, para obtener un vial de aproximadamente 7 g de muestra representativa. Estos 7 g

fueron molidos manualmente con el mortero de ágata hasta llegar a la granulometría de polvo de roca, colocando solo la cantidad necesaria para cubrir el portamuestra.

Las muestras fueron colocadas cuidadosamente en el difractorómetro Bruker D8 Discover, ubicado en el Centro de Caracterización de Minerales (CAM) de la PUCP. Se trabajó con geometría Bragg-Brentano  $\theta/2\theta$ , con radio de 240 mm, 40 kV-40 mA y radiación de  $\text{Cu K}\alpha$  filtrada ( $k=1.5418 \text{ \AA}$ ). Cada muestra fue analizada por aproximadamente una hora por el difractorómetro. Para interpretar el difractograma, se usó el software X'Pert HighScore (Version 2.2.5, PANalytical B.V., Almelo, The Netherlands). Es importante precisar que, tratándose de un método semi-cuantitativo, los porcentajes de abundancia mineral en la muestra son referenciales, teniéndose un enfoque principal en el análisis cualitativo.

Las arcillas no fueron tomadas en cuenta en la semi-cuantificación, debido a limitaciones tanto metodológicas como del software aplicado. En consecuencia, los porcentajes se distribuyen entre los demás minerales constituyentes de la roca. Estas limitaciones no permiten así mismo determinar el tipo de arcilla con exactitud, por lo cual el difractograma solo puede ser empleado para identificar el grupo de arcillas presente en la muestra.

Para esto último se puede usar la Figura 2.1, considerando como guía, la distancia interplanar de los diferentes grupos de arcillas en agregados orientados, sin otro tipo de tratamiento (difractograma azul correspondiente a agregados orientados al natural).

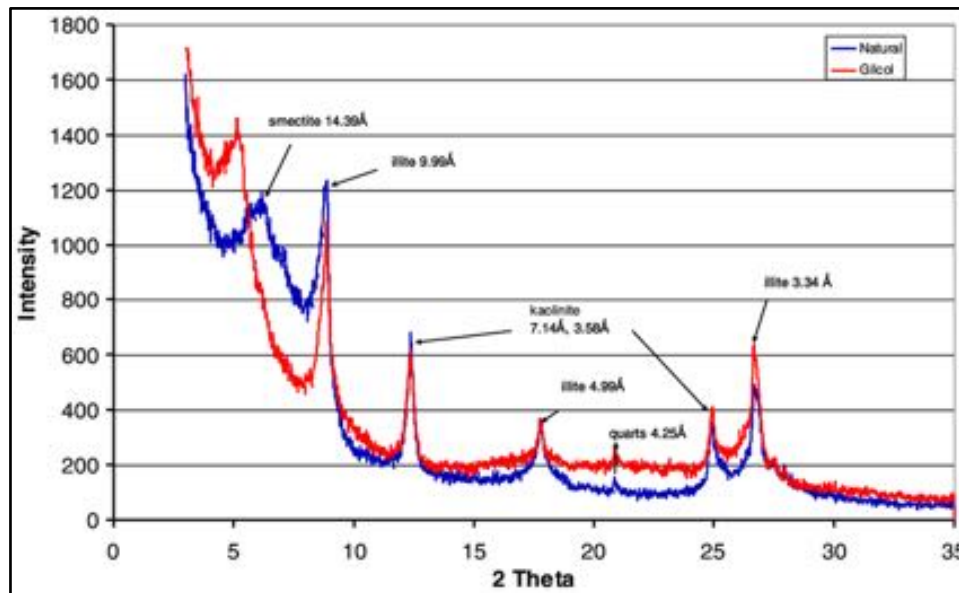


Figura 2.1: Diffractogramas de arcillas a través de agregados orientados al natural (azul) y con tratamiento de glicol (rojo). Tomado de Trzciński *et al.* (2015).

### 3. Marco geológico

#### 3.1. Situación geodinámica

La columna sedimentaria, en la zona occidental del Perú, está compuesta principalmente por rocas de edad Cretácica, tales como, calizas, dolomías y areniscas, cuyo proceso de deposición fue dominado por eventos transgresivos, regresivos y tectónicos (Wilson, 1963; Navarro-Ramírez *et al.*, 2017).

Esta plataforma se encontraba casi completamente separada de la plataforma oriental del país por el Bloque del Marañón, conformado por rocas fuertemente plegadas y metamorfizadas de edad Precámbrica y Paleozoica (Benavides, 1956). Este complejo, de orientación NO-SE, presentaba alto relieve, por lo que actuó como una barrera entre ambas cuencas sedimentarias, influenciando fuertemente en la formación de las rocas sedimentarias de la región (Wilson, 1963).

Los eventos previamente mencionados, que dieron lugar a las formaciones cretácicas conocidas, empezaron en el Titoniano (a finales del Jurásico), con una regresión de baja escala

(Ruegg, 1947), seguido de otros eventos de transgresión y regresión cíclicos de similar escala, hasta finales del Aptiano (Wilson, 1963).

A inicios del Albiano, ocurrió otro proceso de transgresión, el cual alcanzó su mayor magnitud en el Albiano Medio (Benavides, 1956; Wilson 1963), cuyo avance progradó desde el norte hacia el sur (Navarro-Ramírez *et al.*, 2017). La transgresión se extendió inicialmente hasta la región de Arequipa en el sur del Perú, en donde se depositó la Formación Acurquina (Jenks, 1948) y, lateralmente inundó incluso el Bloque del Marañón, uniendo ambas cuencas sedimentarias (Wilson, 1963; Navarro-Ramírez *et al.*, 2017).

Durante este último periodo, hubo vulcanismo también en la zona occidental de la cuenca occidental, en donde se depositaron lavas en almohadilla, rocas piroclásticas y lutitas en el arco volcánico de Huarmey, a lo largo del margen costero (Fischer 1956; Wilson 1963; Navarro-Ramírez *et al.*, 2017). Este proceso está asociado temporalmente con el proceso de rift del Océano Atlántico, la subducción de alto ángulo de la placa de Nazca y los primeros episodios intrusivos del Batolito de la Costa (Beckinsale *et al.*, 1985; Soler y Bonhomme, 1990).

Estos eventos fueron sucedidos por el Evento Mochica, un episodio tectónico que generó deformación durante la sedimentación de los miembros medio y superior de la Formación Jumasha y el desarrollo de estructuras sin-sedimentarias, fallas normales lístricas y grábenes (Busell *et al.*, 1990; Carlotto, 2014).

En el Cenomaniano Tardío hubo un proceso de levantamiento tectónico en el Bloque del Marañón (Mégard, 1979), el cual, en el centro del Perú, aisló a la cuenca occidental del aporte continental proveniente del Cratón Brasileño, condicionando en gran medida el contenido de las calizas formadas en ese período (Navarro-Ramírez *et al.*, 2017).



En los inicios del Coniaciano, el mar había llegado a su máxima extensión en la zona central de la cuenca occidental, recibiendo un mayor aporte detrítico de la cuenca oriental (Benavides, 1956; Wilson, 1963). En esta época ocurre la fase tectónica Peruana, con eventos compresivos de orientación NO-SE que dan inicio al desarrollo de la faja plegada y corrida del Marañón, desarrollando fallas y fuerte plegamiento en la secuencia sedimentaria, como el pliegue por propagación de falla Aguascocha en el área de estudio (Mégard *et al.*, 1984; Carlotto, 2014).

Para finales del Santoniano, la sedimentación marina llegó a su fin con los inicios de la orogénesis en el margen costero, producto del régimen compresivo que empezó en el Albiano (Soler y Bonhomme, 1990). Con el levantamiento tectónico de las cuencas se empezó a retirar el mar hacia el norte hasta el Maestrichiano, teniendo condiciones marinas sólo en la zona norte del Perú (Fischer, 1956; Rivera, 1956; Wilson, 1963). En este periodo, a finales del Cretácico, empieza la Orogénesis Andina, la cual generó las fallas y pliegues que controlan la Cordillera Occidental (Steinmann, 1929; Benavides, 1956).

El desarrollo principal de la faja plegada y corrida del Marañón, presente en un sistema de estructuras de dirección NNO-SSE, ubicada al oeste del Batolito de la Costa y al este del Bloque del Marañón (Figura 3.1) (Scherrenberg *et al.*, 2016), se da durante el Eoceno y Oligoceno, entre 43 a 30 Ma, en los cuales ocurren las mayores tasas de deformación y acortamiento de la Cordillera de los Andes (Noble *et al.*, 1979; Bissig *et al.*, 2008). Esta fase se conoce como Evento Inca y en el área de estudio ha generado estructuras como el anticlinal de Cachipampa, sistemas de dúplex y fallas de propagación (Carlotto, 2014).

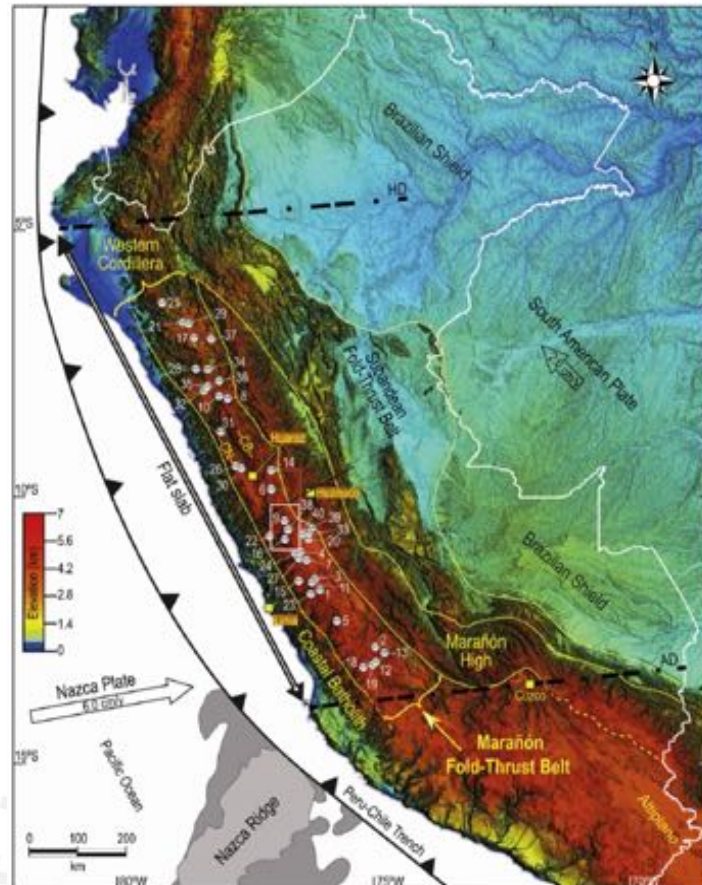


Figura 3.1: Mapa de la ubicación de la faja plegada y corrida del Marañón. La mina Uchucchacua se encuentra en el punto 38 dentro del rectángulo blanco. Modificado de Scherrenberg *et al.* (2016).

Posteriormente, entre el Oligoceno y el Mioceno, ocurren 4 eventos tectónicos compresivos conocidos como Eventos Quechua. El Quechua 0 ocurre entre 29 a 26 Ma, con esfuerzos compresivos E-O y deposición de volcánicos. El Quechua 1 se da entre 25 a 14 Ma, con cambio en los esfuerzos en dirección ENE-OSO, donde se dio reactivación del sistema de fallas tipo dúplex y desplazamiento dextral de las fallas Cachipampa y Socorro, contemporáneamente a la deposición de los Volcánicos Atalaya. Entre 13 y 9 Ma, en el Evento Quechua 2, ocurre un cambio más importante en los esfuerzos, a dirección NO-SE, con desarrollo de pliegues de dirección NE-SO, reactivación de fallas antiguas y fallas regionales con movimientos sinestrales. Por último, el Evento Quechua 3 se da entre 8 y 5 Ma, con esfuerzos ENE-OSO, generando movimiento de fallas dextrales y reactivación de las fallas tipo dúplex en el área de estudio (Carlotto, 2014).

### 3.2. Geología Regional

A continuación, se describen las formaciones presentes en la zona de estudio (Figuras 3.2 y 3.3).

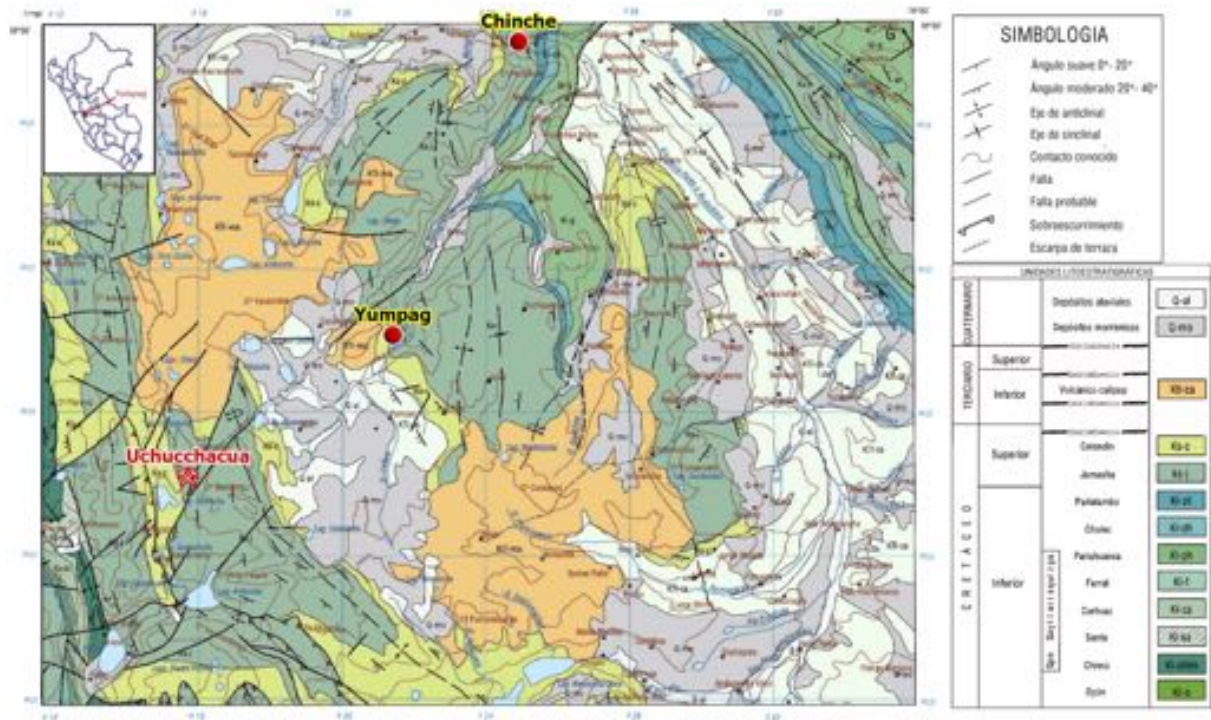


Figura 3.2: Mapa geológico regional de la zona NE del Cuadrángulo de Oyón, indicando la ubicación de las dos columnas levantadas (Columna Chinche y Yumpag). Modificado de Cobbing (1973).

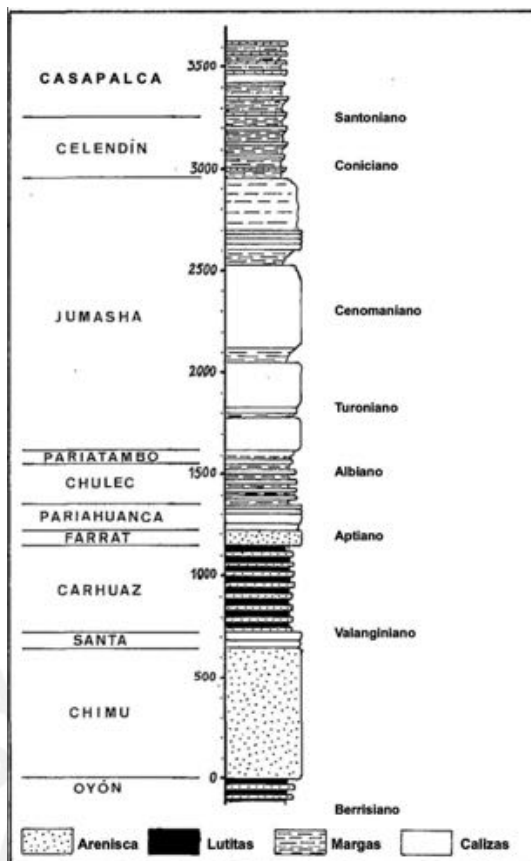


Figura 3.3: Columna estratigráfica del área de estudio. Modificado de Jaillard (1986).

### 3.2.1. Berriasiano: Formación Oyón

La Formación Oyón es clasificada como una secuencia de lutitas grises oscuras y areniscas cuarzosas grises de grano fino, con algunas intercalaciones de carbón (Wilson, 1963; Romero y Latorre, 2003). Estas intercalaciones corresponden a antracita de estructura compleja, lo que imposibilita su extracción (Cobbing, 1973).

En el área de estudio, la Formación Oyón, presenta una potencia de 400 metros, aunque su base no ha podido ser reconocida, adelgazándose hacia el este (Cobbing, 1973). Esta formación sirvió de base, actuando como un plano de despegue, debido a sus propiedades plásticas y de baja competencia, durante la Orogénesis Andina formando el sistema corrido y plegado del Maraón (Wilson, 1963; Carlotto, 2014). Debido a los fósiles hallados, *Otozamites* cf. *O. Peruvianus* y *Otozamites* cf. *O. beanii*, se le asigna una edad Berriasiana (Romero y Latorre, 2003).

### **3.2.2. Berriasiano a Aptiano: Grupo Goyllarisquizga**

#### *3.2.2.1. Formación Chimú*

La Formación Chimú ha sido descrita inicialmente por Benavides (1956) como una secuencia de estratos gruesos de ortocuarcitas de grano medio a fino de color blanquecino a gris claro, formando bancos de 3 metros en promedio, llegando hasta 5 metros al techo de la formación (Wilson, 1963; Cobbing, 1973). Además, presenta intercalaciones de lutitas grises y lechos de carbón (Romero y Latorre, 2003).

La formación mantiene una potencia relativamente uniforme con variaciones entre 400 a 600 m de espesor, presencia de fracturas y laminación cruzada en artesa y planar (Romero y Latorre, 2003; Carlotto, 2014). Se le atribuye una edad del Berriasiano Superior al Valanginiano Inferior debido a que suprayace a la Formación Oyón de forma concordante y subyace a la Formación Santa (Romero y Latorre, 2003).

#### *3.2.2.2. Formación Santa*

La Formación Santa ha sido clasificada como una secuencia de calizas grises con nódulos de chert e intercalaciones de lutitas oscuras y margas (Benavides, 1956; Cobbing, 1973). Hacia la base, esta formación se compone de ortocuarcitas con cemento calcáreo y, hacia el techo, presenta horizontes de calizas arenosas (Romero y Latorre, 2003; Carlotto, 2014).

En el área de estudio, Carlotto (2014) indica que la formación tiene una potencia aproximada de 60 metros y Benavides (1956) le asigna una edad Valanginiano debido a la presencia del ammonite *Valanginites Broggi* en la base de la formación Carhuaz.

### 3.2.2.3. *Formación Carhuaz*

La Formación Carhuaz ha sido definida como secuencias de areniscas rojizas de grano fino y lutitas formando estratos delgados bien definidos (Carlotto, 2014). Hacia el techo de la formación existe una secuencia de ortocuarcitas grises y pardas con intercalaciones menores de lutitas grises y rojas (Wilson, 1963; Romero y Latorre, 2003).

Se trata de una formación con baja competencia, de comportamiento dúctil, formando pliegues, con una potencia entre 200 a 300 metros, adelgazando hacia el este (Cobbing, 1973; Carlotto, 2014). Romero y Latorre (2003) proponen para la formación una edad entre Valanginiana Superior y Aptiana Inferior, según los fósiles encontrados y su posición estratigráfica.

### 3.2.2.4. *Formación Farrat*

La Formación Farrat está compuesta por areniscas cuarzosas de grano medio, de color blanco, con presencia de algunos estratos de conglomerados que gradan hacia el techo a areniscas pardas calcáreas (Wilson, 1963; Romero y Latorre, 2003). En ocasiones se puede presentar de forma masiva con grano de mayor tamaño (Cobbing, 1973).

La formación presenta una potencia máxima de 100 metros en el área de estudio y se encuentra relacionada a ambientes sedimentarios fluvial y deltaico, incluyendo laminación cruzada (Carlotto, 2014). Debido a la falta de fósiles identificados, Wilson (1963) propone una edad Aptiana Superior en base a su posición estratigráfica.

### **3.2.3. Albiano Inferior a Medio: Formaciones Chúlec y Pariatambo**

#### *3.2.3.1. Formación Chúlec*

La formación Chúlec fue inicialmente cartografiada como Formación Pariahuanca por Benavides (1956) en la parte inferior y como Miembro Chúlec en la parte superior. La decisión de juntar ambas formaciones se propone debido a que ambas pertenecen al mismo proceso evolutivo y, porque en la zona de estudio del Cuadrángulo de Oyón, muestran secuencias de potencias delgadas, de 50 metros de promedio (Cobbing, 1973; Romero y Latorre, 2003).

Esta formación está compuesta en su parte inferior por estratos delgados a medios de calizas grises, intemperizadas con colores rojizos y amarillentos y con intercalaciones de limoarcillitas grises (Cobbing, 1973; Romero y Latorre, 2003). En la parte superior está constituida por intercalaciones de margas a calizas en estratos gruesos y de colores grises, con abundante presencia de fauna proveniente de plataforma externa (Cobbing, 1973; Jaillard, 1987; Romero y Latorre, 2003).

#### *3.2.3.2. Formación Pariatambo*

La Formación Pariatambo fue inicialmente descrita por McLaughlin (1924) como calizas oscuras con fuerte olor fétido que consideró, eran parte del miembro superior de la Formación Machay. Posteriormente, Benavides (1956) la reconoce como una formación de calizas y margas bituminosas, tabulares y con abundante contenido fosilífero. Esta unidad incluye nódulos y venillas de chert de color gris oscuro, principalmente en el techo de la formación (Wilson, 1963), lugar donde también se puede apreciar una evolución progresiva hacia calizas de estratos gruesos (Romero y La Torre, 2003).

La deposición de esta formación se encuentra relacionada con el Evento Oceánico Anóxico del Albiano (OEA1), un evento de escala global (Jenkyns, 1980) y de ambiente de

plataforma exterior profunda (Jaillard, 1987). Esta formación presenta también abundantes foraminíferos planctónicos y ammonites, siendo el *Oxytropidoceras Carbonarium*, el que le atribuye la edad de inicios a fines del Albiano Medio (Romaní, 1982; Robert *et al.*, 2009).

#### **3.2.4. Albiano Superior a Turoniano: Formación Jumasha**

La Formación Jumasha es una unidad calcárea que sobreyace concordantemente a la Formación Pariatambo (Mégard, 1968). En el distrito minero de Uchucchacua tiene un espesor de 1320 metros aproximadamente y está dividida en tres miembros: Jumasha Inferior, Jumasha Medio y Jumasha Superior (Romani, 1982). La formación presenta estratos marcadores, correspondientes a niveles de margas y calizas margosas color beige que representan períodos de subsidencia de la cuenca, distinguiéndose de las calizas grises masivas (Jaillard, 1986).

##### **3.2.4.1. Miembro Jumasha Inferior**

Romani (1982) estudió este miembro al oeste de Uchucchacua, en el Cerro Iscu, determinando una potencia total de aproximadamente 500 metros. El autor define la litología como calizas grises, en ocasiones masivas, con presencia de chert y calizas margosas en la base. En la parte media, se encuentran facies cuarzosas y bioclásticas.

Navarro-Ramírez (2017) estudió la distribución de facies de la Formación Jumasha, determinando que las facies del miembro inferior son calizas predominantemente de grano fino, principalmente *mudstone* grises argilláceas que a medida que se adentran a la plataforma, aumentan su tamaño de grano hacia calizas *wackestone* y *packstone*. En ambiente de plataforma media, domina la presencia de rocas *grainstones* y *floatstones* con fragmentos de bioclastos derivados de ostrácodos, gasterópodos y equinodermos mezclados con material terrígeno; que se extendieron por la rampa carbonatada durante el Albiano-Cenomaniano (Navarro-Ramírez, 2017).



Ante la ausencia de organismos constructores de plataforma o barrera, se interpreta que los sedimentos y material orgánico se transportaron y fueron retrabajados y redepositados en la rampa carbonatada por eventos de tormenta (Navarro-Ramírez, 2017). La presencia del contenido arcilloso en las rocas se interpreta como sedimentos terrígenos que provinieron de la erosión y la meteorización del Cratón Brasileño, de forma que las calizas del miembro inferior, ricas en material terrígeno de naturaleza insoluble, presentan poca capacidad de desarrollar porosidad y hospedar yacimientos minerales (Carlotto, 2014; Navarro-Ramírez, 2017).

Romani (1982) le atribuye a la base de este miembro una edad Cenomaniense por el *Exogery (Costagryra) cf. Olisoponensis* que contiene, mientras que en el techo se encuentra el foraminífero *Merlingina cretacea* que corresponde al Cenomaniense Medio al Superior. El contacto entre los miembros inferior y medio se encuentra marcado por calizas de grano grueso que corresponden al miembro medio, cuya topografía asociada es más pronunciada y sólo apreciable al oeste de la laguna Colquicocha, en donde aflora (Alván, 2018).

#### 3.2.4.2. Miembro Jumasha Medio

Estudios realizados por Alván (2018) para la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A estiman que el miembro medio de la Formación Jumasha tiene aproximadamente 540 metros de potencia, la cual adelgaza hacia el este. En la base se encuentra un nivel de margas con presencia de bivalvos, gasterópodos y ostras. Este nivel se interpreta como un ambiente de deposición de mar abierto y profundo y es usado como nivel de referencia para la cartografía (Romaní, 1982; Carlotto, 2014; Ligarda *et al.*, 2021).

En los estratos superiores se encuentran calizas *mudstone* margosas donde aumenta la bioturbación y aparecen gasterópodos centimétricos, reflejando un ambiente de menor profundidad. Este conjunto de rocas es sobreyacido por un estrato delgado de calizas oolíticas, seguido de calizas de textura *mudstone* y *wackestone* de tonalidades claras donde hay

predominancia de anélidos, foraminíferos, ostrácodos, fragmentos de bivalvos, gasterópodos y pequeñas espinas de erizos de mar (Jaillard, 1986).

Por otro lado, Alván (2018) define que las secuencias del miembro medio en los alrededores de la Mina Uchucchacua están compuestas principalmente por calizas *grainstone*, *packstone* y *rudstone* masivas, las cuales pueden estar intercaladas con calizas de grano más fino como *mudstone* y *wackestone*, cuya abundancia es menor a las calizas de grano grueso.

Ligarda *et al.* (2021) reportan que en los alrededores de Yumpag, este miembro se compone principalmente por calizas *mudstone* dispuestas en bancos gruesos intercalados con calizas que contienen foraminíferos y gasterópodos centimétricos. Entre ellas destacan calizas puras *packstone-grainstone* masivas y calizas nodulares *wackestone-packstone*.

Navarro-Ramirez *et al.* (2017) definen la paleogeografía de la depositación de la Formación Jumasha (Figuras 1.2 y 1.3) confirmando lo planteado por Jaillard (1986), que indica que el levantamiento del Bloque del Marañón en el Cenomaniano Tardío restringió a la plataforma carbonatada de los aportes terrígenos del Cratón Brasileño, permitiendo la formación de las calizas *grainstone* puras de color gris claro, compuestas por peloides, miliólidos, foraminíferos bentónicos de *Perouvianella Peruviana*, algas Dasycladales, entre otros organismos típicos de ambientes semi restringidos. Estas calizas *grainstone* puras del miembro medio actúan como el horizonte prospectivo más importante en Uchucchacua, albergando el 90% de la mena en los cuerpos mineralizados del distrito minero (Ligarda *et al.*, 2021).

En el techo del Miembro Jumasha Medio se ha definido un importante marcador superior de 40 a 100 metros de potencia conformado por margas y calizas margosas, con presencia de miliólidos y foraminíferos planctónicos (Carlotto, 2014). Ligarda *et al.* (2021) reportan que en el proyecto Yumpag, dicho marcador está compuesto por intercalaciones de

calizas *grainstone* con gasterópodos y foraminíferos, calizas *mudstone* margosas y calizas *mudstone-wackestone* margosas nodulares.

A este miembro se le atribuye una edad que corresponde a la transición del Cenomaniano Tardío al Turoniano Temprano, debido a la presencia del foraminífero *Perouvianella Peruviana* (Jaillard y Arnaud-Vanneau, 1993).

#### 3.2.4.3. Miembro Jumasha Superior

Abarca los estratos posteriores al marcador margoso del miembro medio hasta el techo de la Formación Jumasha. Romani (1982) define este miembro como calizas de grano fino, ricas en microfauna de plataforma interna, atribuyéndole un espesor que varía entre 300 a 400 metros. Por otro lado, Alván (2018) señala que, a grandes rasgos, las rocas de este miembro son predominantemente calizas *grainstone* y *packstone* con intercalaciones de calizas *mudstone*.

Los últimos estudios llevados a cabo por Ligarda *et al.* (2017; 2021) brindan una nueva subdivisión para el Miembro Jumasha Superior, dividiéndolo en tres horizontes. En la base se tiene un horizonte de gasterópodos de 150 metros de calizas dispuestas en bancos delgados, cuya litología es idéntica a la del Miembro Jumasha Medio, presentando también gasterópodos centimétricos y foraminíferos. Sobre este yace el horizonte prospectivo Beta de 50 metros de potencia en Yumpag y 35 metros en Uchucchacua, compuesto por calizas puras *mudstone-wackestone* con presencia de foraminíferos y fragmentos de conchas, así como también se encuentran calizas margosas masivas y nodulares. Finalmente, se distingue un horizonte margoso conformado por intercalaciones rítmicas de calizas margosas masivas, nodulares y calizas puras grises que se han comportado como “roca sello”, permitiendo la mineralización en el horizonte subyacente (Ligarda *et al.* 2017).

### **3.2.5. Coniaciano a Santoniano: Formación Celendín**

La Formación Celendín ha sido dividida en dos miembros según la litología. El miembro inferior está formado por intercalaciones de calizas y calizas margosas de color beige, siendo estas últimas las que la diferencian de la Formación Jumasha (Wilson, 1963; Carlotto, 2014). El miembro superior está constituido por niveles de calizas margosas y margas de colores blancos a grises, encontrándose en discordancia angular con la Formación Casapalca (Cobbing, 1973; Romani, 1982).

El ambiente de deposición de la formación corresponde a un ambiente con mayor aporte continental de plataforma interna y presenta una potencia aproximada de 200 metros, la cual se adelgaza hacia el este en la sección de estudio (Wilson, 1963; Carlotto, 2014). Por los ammonites encontrados en la formación, se le atribuye edad Coniaciana a Santoniana (Cobbing, 1973).

### **3.2.6. Campaniano a Maestrichtiano: Formación Casapalca**

La Formación Casapalca consiste de intercalaciones de margas con areniscas y areniscas calcáreas rojas, presentando, hacia el techo, una secuencia de areniscas principalmente, con intercalaciones de limolitas rojas (Romero y Latorre, 2003; Carlotto, 2014).

Estas secuencias de areniscas rojas se depositaron en ambiente continental y presentan una potencia aproximada entre 100 a 150 metros en el área de estudio (Carlotto, 2014). A pesar de la falta de fósiles presentes en la formación, se ha podido determinar una edad Campaniana a Maestrichtiana de acuerdo a la posición estratigráfica (Cobbing, 1973).

### 3.2.7. Rocas ígneas

En los alrededores de Uchucchacua existen rocas intrusivas y volcánicas. En cuanto a las rocas intrusivas, estas se pueden subdividir en dos periodos de magmatismo principales descritos a continuación (Carlotto, 2014).

#### 3.2.7.1. Oligoceno Superior: Rocas intrusivas

Las calizas de la Formación Jumasha son intruídas por numerosos stocks de pórfidos dacíticos que han generado skarns con mineralización de Pb-Zn-(Cu). Los últimos estudios realizados por Compañía de Minas Buenaventura confirman que los stocks son casi simultáneos con el emplazamiento de un lacolito de microdiorita estéril en Yumpag (Ligarda *et al.*, 2021).

#### 3.2.7.2. Mioceno Medio a Superior: Rocas intrusivas

Un segundo evento magmático produjo el emplazamiento de diques riolíticos, los cuales se emplazaron en el Mioceno Medio y, según Alpers (1980), este evento sería el responsable de la mineralización de Ag, Mn y Zn en el distrito minero. Al norte de Uchucchacua, riolitas potásicas masivas intruyen la Formación Celendín, mientras que al sur de Uchucchacua las riolitas son cuarzosas (Romani, 1982).

En cuanto a la zona de estudio en el cerro Yumpag, durante el Mioceno se emplazó un stock de diorita que generó un skarn prógrado sin mineralización. Posteriormente, la actividad magmática se intensificó, permitiendo el emplazamiento del dique de andesita porfírica Mequíás que controló la mineralización del cuerpo mineral Camila (Ligarda *et al.*, 2021).

### 3.2.7.3. Oligoceno a Mioceno Medio o Superior: Volcánicos Atalaya

Su litología consiste en riolitas, dacitas, andesitas y basaltos (Romani, 1982; Bissig *et al.*, 2008) y corresponden a los volcánicos Calipuy, localmente denominados volcánicos Atalaya.

## 3.3. Geología del Yacimiento

En Uchucchacua y Yumpag aún no se tiene total certeza de la relación entre los distintos eventos intrusivos y la mineralización (Figura 3.4); no obstante, se sabe que ésta última se formó secuencialmente, producto de distintos pulsos magmáticos que generaron también alteración hidrotermal (Ligarda *et al.*, 2021). Escalante (2008) propuso la existencia de un sistema pórfido-skarn a mayor profundidad, cuyos fluidos hidrotermales formaron un yacimiento epitermal de tipo *intermediate sulfidation*. En general, Uchucchacua es clasificado como yacimiento de skarn, *carbonate replacement* y vetas de Ag-Mn-Pb-Zn como lo plantearon Bussell *et al.* (1990).

El desarrollo de la faja plegada y corrida del Marañón y los eventos compresivos, del Oligoceno a Mioceno, correspondientes a los episodios de la tectónica Quechua, generaron en la zona un sistema de plegamientos y fallas, tales como las fallas Colquicocha, Cachipampa y Uchucchacua; siendo las dos primeras de alcance cortical en una tectónica de piel gruesa. Estas fallas sirvieron como control estructural importante que facilitó el transporte de los fluidos mineralizantes y su posterior deposición (Carlotto, 2014; Ligarda *et al.*, 2021).

El primer evento de mineralización en Uchucchacua se dio por intrusión de diques porfiríticos dacíticos datados entre  $26.68 \pm 0.34$  Ma y  $25.08 \pm 0.21$  Ma según dataciones U/Pb en zircón y  $25.28 \pm 0.44$  Ma según K/Ar en feldespato potásico (Bissig *et al.*, 2008; Ligarda *et al.*, 2021). Este evento dio lugar a la formación de skarn de Pb-Zn-(Cu), donde las intrusiones

habrían sido desplazadas por la falla Socorro, de cinemática dextral (Carlotto, 2014; Ligarda *et al.*, 2021). Por otro lado, en Yumpag, los eventos intrusivos que generaron la mineralización son más jóvenes, con edad máxima de  $11.75 \pm 0.17$  Ma, datada en U/Pb en zircón para el dique Mequíás. Sin embargo, no se ha podido identificar con exactitud la edad de estos intrusivos (Ligarda *et al.*, 2021).

En Uchucchacua y Yumpag los cuerpos minerales más importantes en cuanto a ley y tonelaje son los cuerpos Gina-Socorro y Camila, respectivamente. Estos cuerpos presentan un zonamiento metálico, donde la zona central tiene concentración de Cu-Zn-Pb, relacionada al sistema skarn en Uchucchacua, la cual va gradando hacia una secuencia rica en Ag-Mn-(Au, en Uchucchacua) en la zona distal, relacionada a un sistema epitermal de tipo *low sulfidation* (Ligarda *et al.*, 2021).

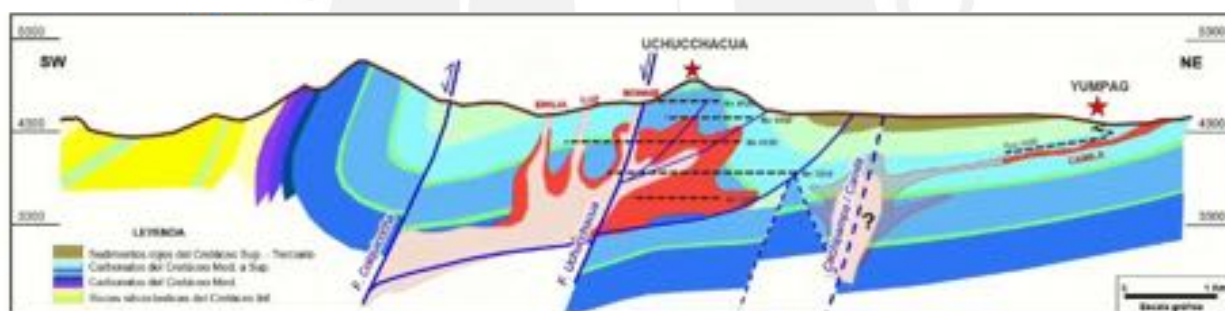


Figura 3.4: Sección geológica esquemática entre la mina Uchucchacua y el proyecto Yumpag. En rosa claro se muestran posibles intrusivos, los cuales generan los cuerpos mineralizados (Emilia, Luz, Bonnie y Camila).

Tomado de Ligarda *et al.* (2021).

#### 4. Clasificación de rocas carbonatadas

Las rocas carbonatadas son rocas sedimentarias compuestas por minerales carbonatados como calcita y dolomita. Para un estudio completo, es necesario identificar las microfacies sedimentarias de las mismas, que se suman a las observaciones en el campo, de modo tal que, a la clasificación preliminar, basada principalmente en el tamaño de grano y la composición litológica, se añada una clasificación textural que permite, en conjunto, una interpretación del

medio ambiente sedimentario, permitiendo un análisis de la evolución sedimentaria de la unidad.

#### 4.1. Clasificación de Folk

La clasificación de Folk (1959, 1962) nombra las rocas carbonatadas en función a los componentes aloquímicos (prefijo) y al tipo de cemento (sufijo) presente en la roca (Figura 4.1). En el caso de los componentes aloquímicos o granos carbonatados, estos pueden ser fragmentos fósiles (Bio) y partículas de carbonatos re trabajados como oolitos (Oo), pellets (Pel) o intraclastos (Intra). El cemento calcáreo se clasifica según su granulometría, pudiendo ser cemento de esparita (granos de calcita de tamaño mayor a 5  $\mu\text{m}$ ) o matriz de micrita (granos de calcita de tamaño menor a 5  $\mu\text{m}$ ) (Figura 4.2).

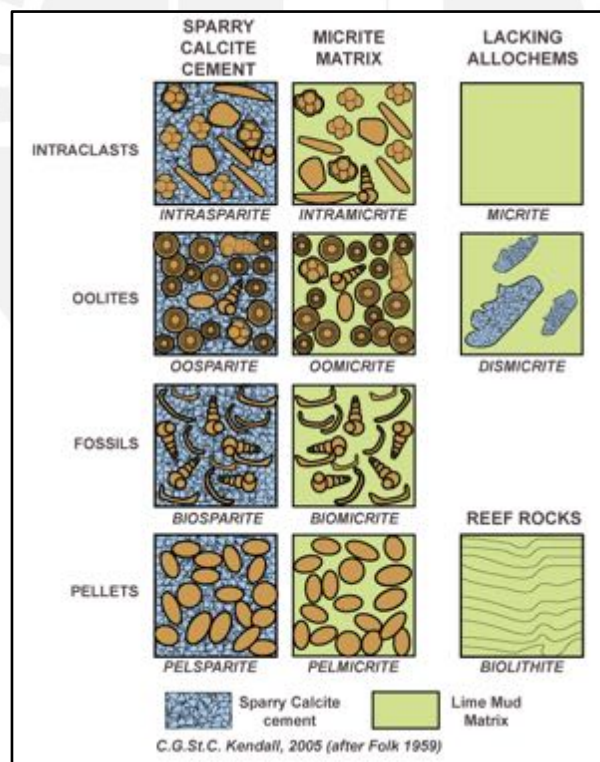


Figura 4.1: Clasificación práctica de rocas carbonatadas (Folk, 1959). Fuente web:

<http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89>



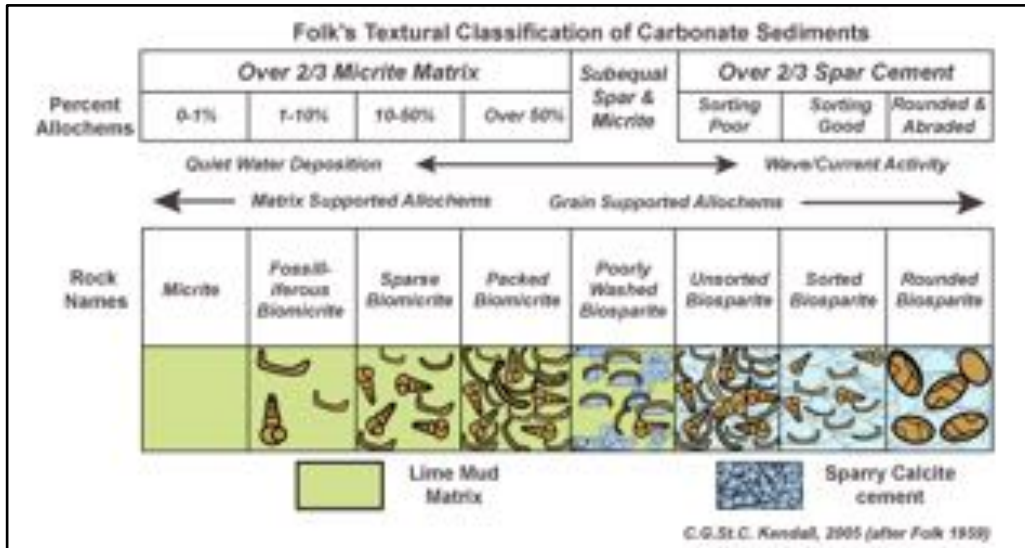
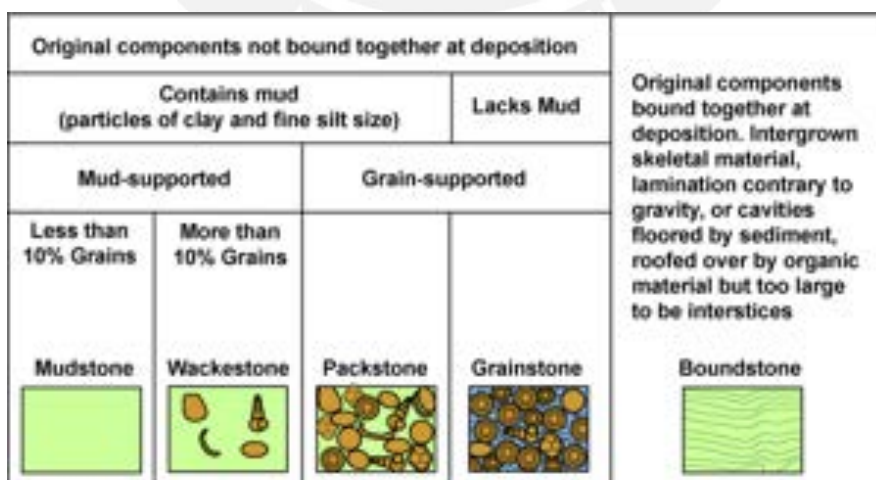


Figura 4.2: Clasificación detallada de rocas carbonatadas (Folk, 1959). Fuente web: <http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89>

#### 4.2. Clasificación de Dunham

Dunham (1962), busca clasificar la roca basándose en aspectos relacionados con la textura deposicional, nombrando la roca según la proporción relativa entre granos carbonatados y matriz, tomando en cuenta también si los granos carbonatados estuvieron en contacto al momento de la sedimentación (Figura 4.3). Esta clasificación es usada en el presente trabajo para clasificar las muestras de mano en el campo.



C. G. St. C. Kendall, 2005 (after Dunham, 1962, AAPG Memoir 1)

Figura 4.3: Clasificación de rocas carbonatadas (Dunham, 1962). Fuente web: <http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89>

Embry y Klovan (1971) añadieron los términos *Floatstone* y *Rudstone* a la clasificación de Dunham, agregando también tres nuevos tipos de rocas carbonatadas dentro de las *Boundstone* (Figura 4.4).

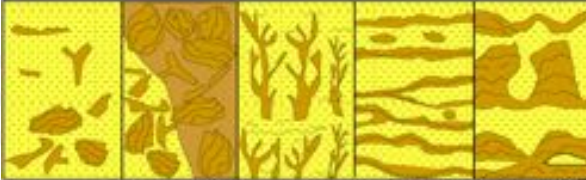
Allochthonous		Autochthonous		
Original components not bound organically at deposition		Original components bound organically at deposition		
>10% grains > 2mm				
Matrix supported	Supported by >2mm component	By organisms that act as baffles	By organisms that encrust and bind	By organisms that build a rigid framework
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone
				

Figura 4.4: Clasificación adicional de rocas carbonatadas (Dunham, 1962). Fuente web: <http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=89>

## 5. Levantamiento de columna

### 5.1. Columna Chinche

Para esta columna, se realizó un recorrido preliminar a lo largo de la carretera con la finalidad de reconocer cambios litológicos distinguibles en campo. Posteriormente, se hizo un levantamiento y muestreo a lo largo de la columna de toda la Formación (Figura 5.1).

Para la base de la columna se escogió el contacto erosivo de las calizas bituminosas de la Formación Pariatambo con el miembro inferior de la Formación Jumasha ( $10^{\circ}30'12.96''S$   $76^{\circ}36'36.98''O$ ) (Figura 5.2). El techo de la columna levantada ( $10^{\circ}30'21.48''S$   $76^{\circ}36'29.23''O$ ) corresponde a la transición de las calizas del miembro superior de la Formación Jumasha y las margas de la Formación Celendín (Figura 5.3).



Figura 5.1: Camino recorrido mostrando el inicio o base (A) y final o techo (B) de la Formación Jumasha (Modificado de Google Earth, 2019).

La potencia resultante de la columna es de 928.20 metros, abarcando los tres miembros de la Formación Jumasha. Es importante precisar que, en algunas zonas, el contacto Jumasha-Celendín presenta fallas y plegamientos, los cuales no han sido objeto de este estudio. En el resto de zonas, se pudo observar una clara discordancia angular entre ambas formaciones (Figura 5.3).



Figura 5.2: Base de la Formación Jumasha. Se observa contacto erosivo con la Formación Pariatambo.

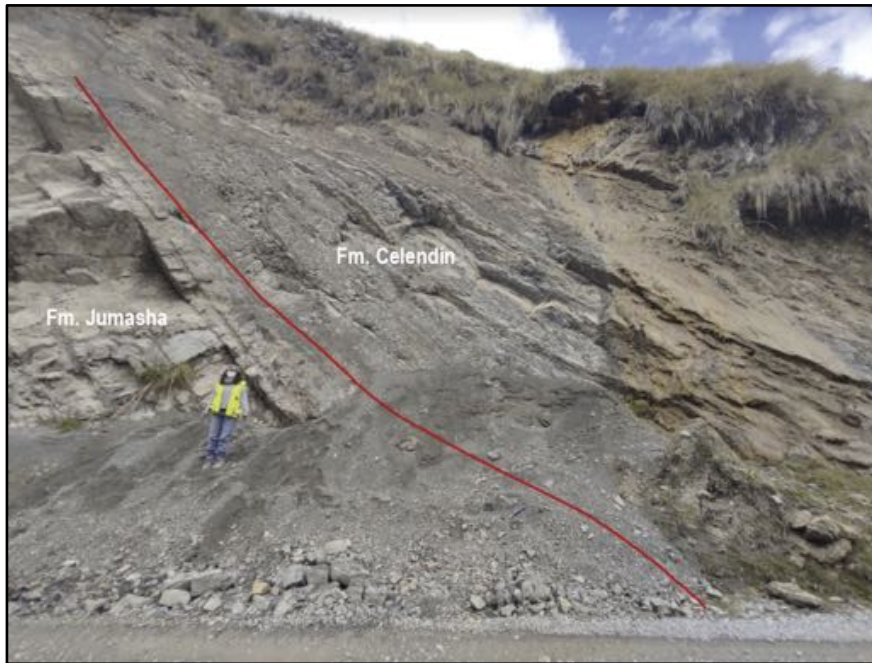


Figura 5.3: Techo de la Formación Jumasha. Se observa discordancia angular con la Formación Celendin.

## 5.2. Columna Yumpag

El sondaje de exploración fue proporcionado por el equipo de exploraciones de la Compañía Buenaventura, dicho sondaje se encuentra en la planta industrial de Río Seco, donde se almacenan gran parte de los testigos de exploraciones de la Compañía Buenaventura. Las coordenadas del sondaje son  $10^{\circ}35'15.35''S$  y  $76^{\circ}38'2.34''O$ , abarcando 383.10 metros de la Formación Jumasha, de los cuales 304.50 corresponden al miembro superior y 78.60 metros al miembro medio.

Este taladro había sido logeado con anterioridad por los ingenieros en Yumpag, por lo que la información proporcionada por ellos fue complementada y corregida con secciones delgadas escogidas en partes estratégicas de los testigos.

## 6. Descripción de facies sedimentarias

Se agrupan las facies de la Formación Jumasha, según los distintos ambientes sedimentarios, siguiendo criterios establecidos por Jaillard (1986) y Navarro *et al.* (2017). En

las columnas levantadas se identifican 3 ambientes: Rampa interna, rampa media y rampa externa. Cada ambiente tiene una serie de facies a la cual se le asigna un color característico siguiendo un criterio similar al de Navarro *et al.* (2017) para facilitar su correlación entre las columnas elaboradas en este trabajo.

Dentro de cada ambiente de deposición, se distinguen ciertas texturas características que permiten relacionar las rocas con una determinada facies. Cabe precisar que, en ocasiones, no es posible establecer una diferencia clara entre un ambiente u otro, debido a que las texturas características no son suficientemente distinguibles.

## **6.1. Facies de rampa interna**

Dentro de estas facies se pueden identificar facies de zona intermareal y submareal.

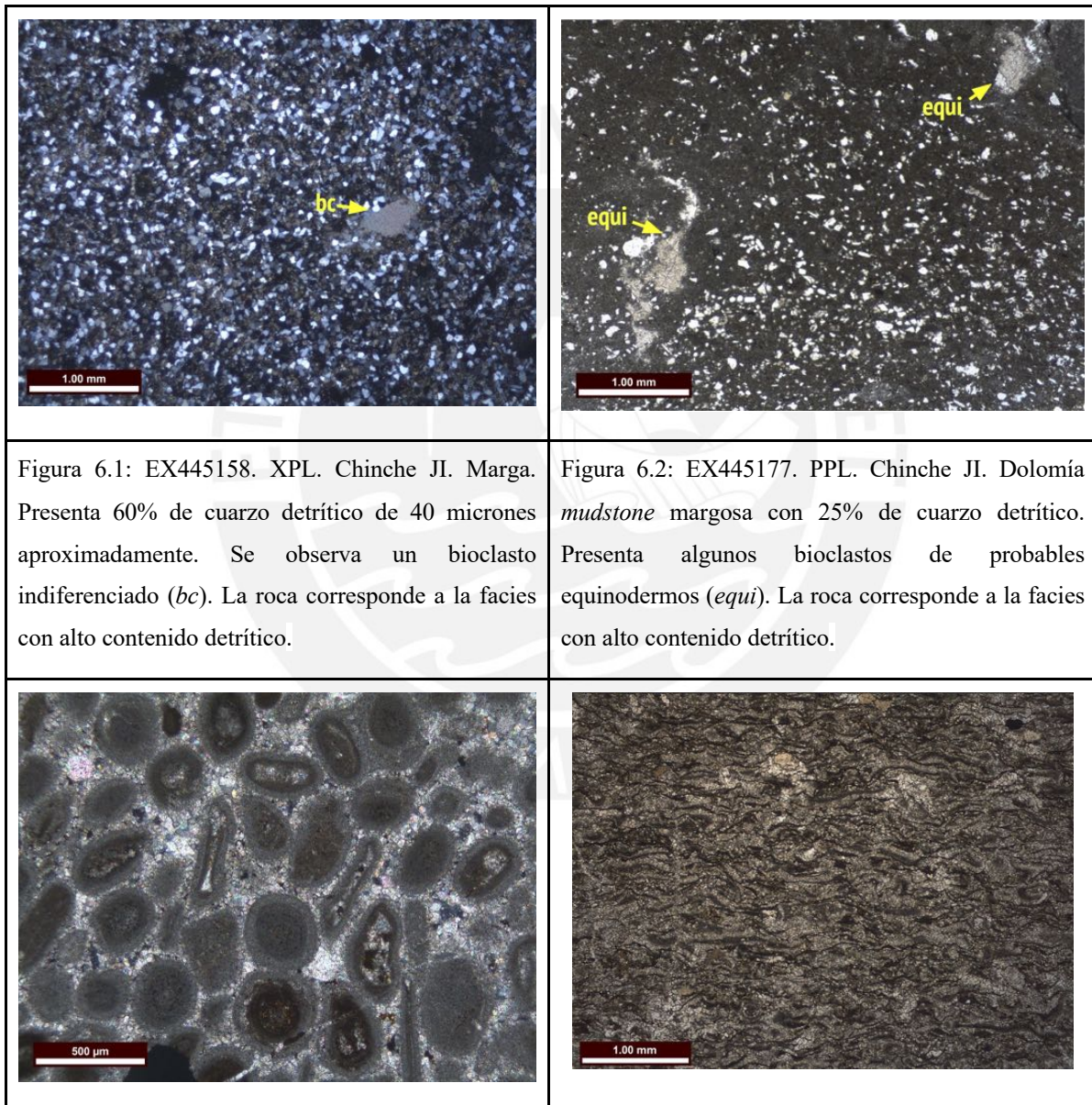
### **6.1.1. Zona intermareal a submareal**

#### *6.1.1.1. Facies con alto contenido detrítico (margas, calizas margosas y dolomías margosas)*

Margas de colores claros, calizas y dolomías margosas (Figuras 6.1 y 6.2) con ocasionales fragmentos de bioclastos, entre ellos se pueden distinguir bivalvos, ostrácodos y posibles equinodermos. Cuarzo detrítico se presenta como granos subangulares a subredondeados, llegando a tener una abundancia de 35 a 65%, en el caso de las margas. La escasez de fauna, la ocasional laminación y la presencia de cuarzo tamaño limo podrían indicar un ambiente de energía baja probablemente de tipo *lagoon* de zona intermareal a submareal (Navarro *et al.*, 2017).

### 6.1.1.2. Grainstones oolíticas con laminación algal

Calizas *grainstone* oolíticas con escasos bioclastos, entre ellos bivalvos (Figura 6.3). Presentan también laminación algal (Figura 6.4). Los oolitos indican un ambiente de alta energía, posiblemente cercano a una barra y la laminación algal sugiere un ambiente intermareal a submareal (Flügel, 2010).



<p>Figura 6.3: EX445169. XPL. Chinche JI. <i>Grainstone</i> de oolitos. Algunos se encuentran micritizados. Se observa también que algunos presentan bioclastos como núcleo. La roca corresponde a la facies de <i>grainstones</i> oolíticas con laminación algal.</p>	<p>Figura 6.4: EX445169. PPL. Chinche JI. Laminación algal típica de la facies de <i>grainstones</i> oolíticas con laminación algal.</p>
--	--

## 6.1.2. Zona submareal

### 6.1.2.1. *Mudstones* y *wackestones* con escasos bioclastos

Dolomías y calizas *mudstone* a *wackestone* con escasos bioclastos (Figura 6.5). Entre los aloquemas se pueden encontrar fragmentos de bioclastos, entre ellos bivalvos, equinodermos y peloides. Ocasionalmente las rocas presentan intraclastos. El porcentaje de cuarzo detrítico es menor al 5%. La escasez de bioclastos indica un ambiente submareal de rampa interna, ligeramente restringido (Navarro *et al.*, 2015), posiblemente de tipo *lagoon*.

### 6.1.2.2. *Mudstones*, *wackestones* y *packstones* bioclásticas

Dolomías y calizas *mudstone* a *packstone* con una mayor abundancia de bioclastos como bivalvos, equinodermos, foraminíferos, algas, gasterópodos braquiópodos y ostrácodos (Figura 6.6). Ocasionalmente se pueden encontrar peloides e intraclastos. Dado que el contenido de cuarzo usualmente no supera el 5% y la fauna es más variada, se trataría de un ambiente submareal más distal y de menor energía que la facies anteriormente descrita (Navarro *et al.*, 2015).

### 6.1.2.3. *Grainstones* de gasterópodos

*Grainstones*, *floatstones* y en ocasiones *rudstones*, con gasterópodos y foraminíferos, siendo gasterópodos los bioclastos predominantes (Figura 6.7). Fragmentos de bivalvos y ostrácodos, así como algas y peloides también forman parte de esta facies. Los gasterópodos se distinguen en el campo fácilmente ya que estos alcanzan en algunos casos un tamaño de 3 a 5

cm. La presencia de estos aloquemas puede indicar un ambiente de moderada a alta energía en la zona submareal somera, la cual puede ser afectada por eventos de tormenta (Elrick *et al.*, 2009).

#### 6.1.2.4. *Grainstones, grapestones y packstones peloidales*

Calizas *packstone*, *grapestone* y *grainstone* con peloides como aloquema principal (Figura 6.8). A su vez, se encuentra una gran variedad de bioclastos como foraminíferos (predominantemente bentónicos como los miliólidos). Ocasionalmente aparecen también algas, fragmentos de bivalvos u ostrácodos, equinodermos, gasterópodos y braquiópodos. La roca en general presenta 1% de cuarzo en promedio. La predominancia de peloides, así como la presencia de foraminíferos bentónicos y ostrácodos podrían indicar un ambiente ligeramente restringido, tipo lagoon (Elrick *et al.*, 2009).

#### 6.1.2.5. *Grainstones y packstones de algas*

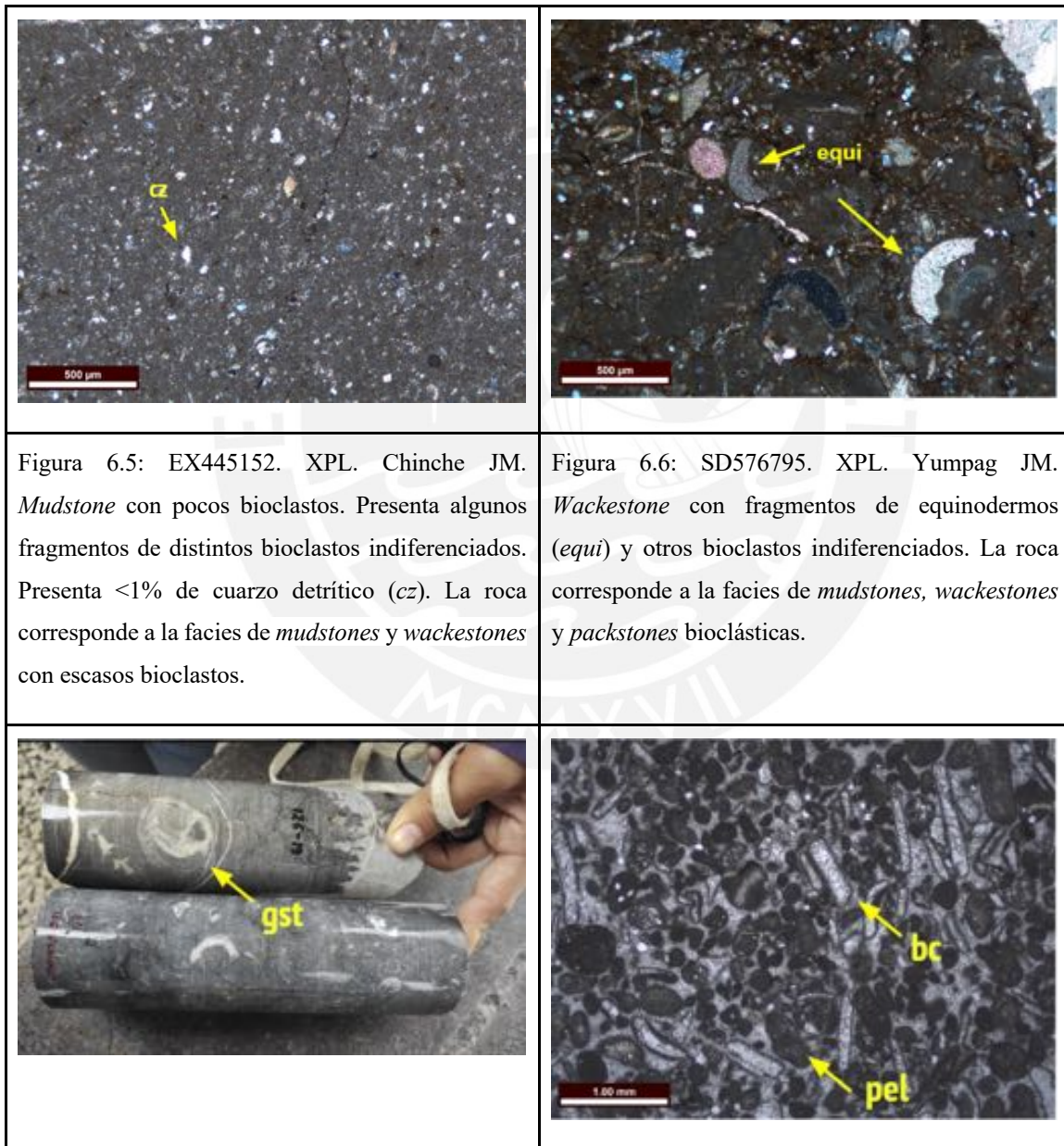
Esta facies la conforman calizas *packstone* y *grainstone* con predominancia de restos de algas tipo Dasycladales (Figura 6.9). Estas algas se presentan con foraminíferos bentónicos como los miliólidos y, ocasionalmente también con equinodermos, ostrácodos, bivalvos, braquiópodos y peloides. El contenido de cuarzo no supera el 1% en promedio. En la base del miembro superior de la Formación Jumasha las algas están asociadas a la *Perouvianella peruviana*. La presencia de algas tipo Dasycladales indicaría un ambiente submareal somero ligeramente restringido (Flügel, 2010).

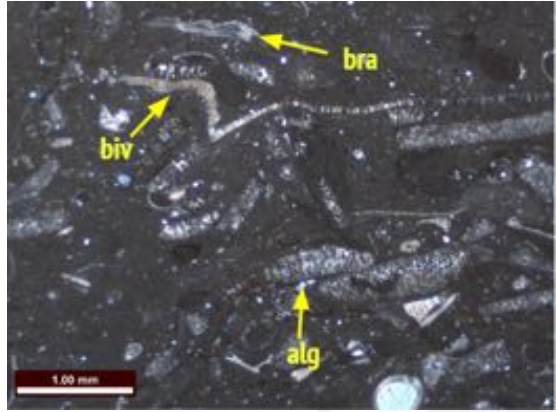
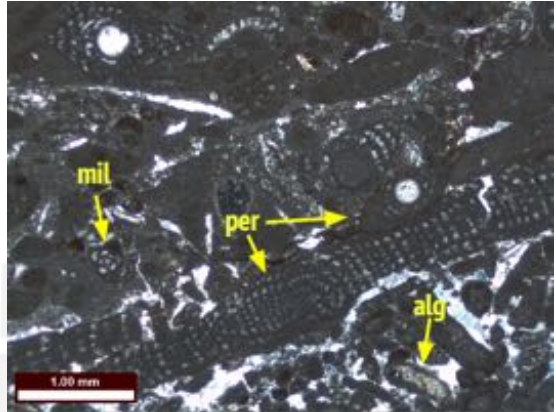
#### 6.1.2.6. *Packstones y grainstones de Perouvianella peruviana y miliólidos*

Calizas en su mayoría *packstone* a *grainstone* con abundante *Perouvianella peruviana* y miliólidos (Figura 6.10). Entre la fauna también se distinguen, en menor proporción, algas Dasycladales y otros foraminíferos bentónicos. Ocasionales fragmentos de bivalvos u



ostrácodos, gasterópodos y equinodermos se identifican en estas rocas. Muchos de los aloquemas aparecen como peloides micritizados. Además, la presencia de extraclastos detríticos es nula o muy baja (menor al 0.5%). La *Perouviannella peruviana* es un foraminífero bentónico alargado que usualmente puede ser identificado fácilmente macroscópicamente. La presencia de *Perouviannella peruviana* indica un ambiente submareal de rampa interna (Navarro et al., 2017) con aporte detrítico casi inexistente.



<p>Figura 6.7. Yumpag JS. Grainstone de gasterópodos (<i>gst</i>) correspondiente a la facies de <i>grainstones</i> y <i>floatstones</i> de gasterópodos.</p>	<p>Figura 6.8. EX445154. PPL. Chinche JM. Grainstone. Peloides (<i>pel</i>) y bioclastos (<i>bc</i>). Los peloides son en parte bioclastos micritizados. La roca corresponde a la facies de <i>grainstones</i> y <i>packstones</i> peloidales.</p>
	
<p>Figura 6.9: EX445140. XPL. Chinche JM. <i>Packstone</i> bioclástica con predominancia de algas (<i>alg</i>). Se observan también bivalvos (<i>biv</i>), braquiópodos (<i>bra</i>) y otros. Presenta 1% de cuarzo detrítico. La roca pertenece a la facies de <i>grainstones</i> y <i>packstones</i> de algas.</p>	<p>Figura 6.10: EX445124. XPL. Chinche JS. Grainstone con <i>Perovianella peruviana</i> (<i>per</i>), miliólidos (<i>mil</i>) y algas (<i>alg</i>). La roca pertenece a la facies de <i>Packstones</i> y <i>grainstones</i> de <i>Perovianella peruviana</i> y miliólidos.</p>

## 6.2. Facies de rampa media

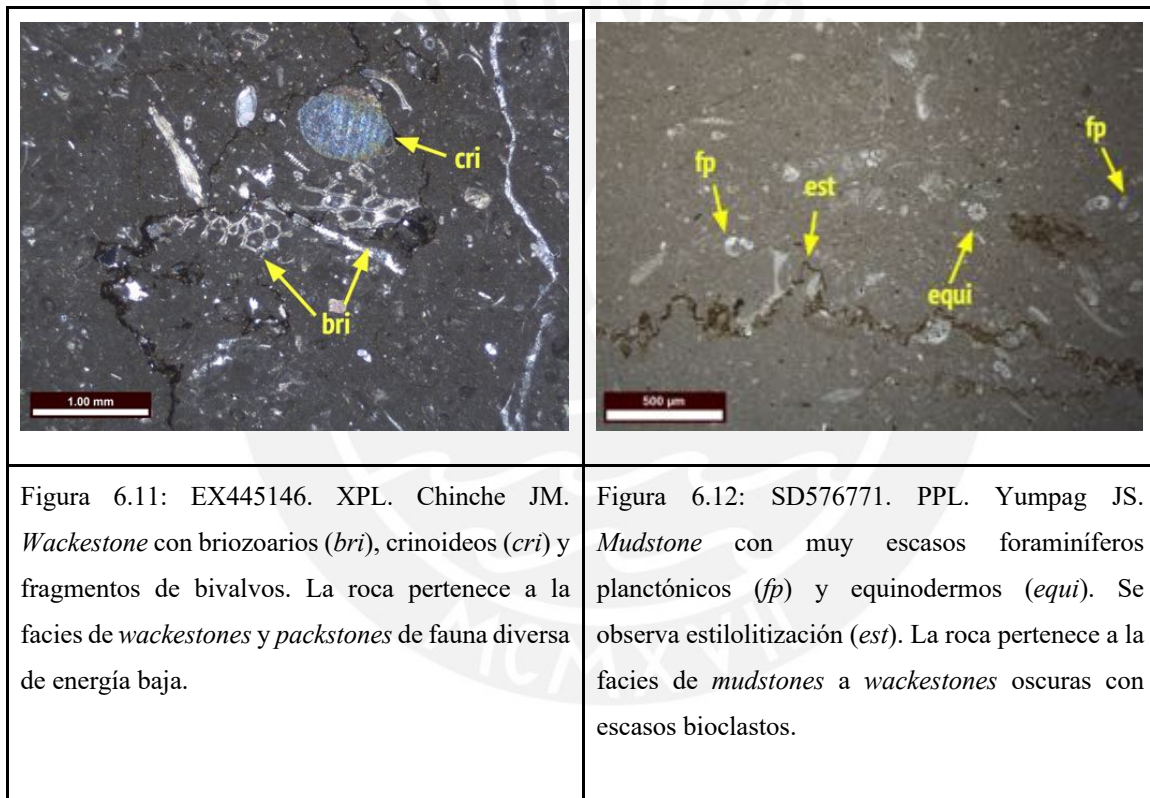
### 6.2.1. *Wackestones* y *packstones* de fauna diversa de baja energía

Esta facies consta de *wackestones* y *packstones* con distintos bioclastos, dentro de los cuales predominan equinodermos (equinoideos y crinoideos), briozoarios y foraminíferos planctónicos (Figura 6.11). También se encuentran ocasionalmente bivalvos, braquiópodos, *Perovianella peruviana* y peloides. Algunos aloquemas se encuentran fracturados. Aparece chert reemplazando algunos aloquemas, sobre todo en el Miembro Jumasha Superior. La predominancia de equinodermos, briozoarios y foraminíferos planctónicos (como los globigerínidos) indican un ambiente más profundo y alejado de la costa, sugiriendo un ambiente de rampa media o mar abierto (Lukasik *et al.*, 2000; Scholle, 1978).

### 6.3. Facies de rampa exterior

#### 6.3.1. *Mudstones a wackestones oscuras con escasos bioclastos*

Se trata de calizas *mudstone* a *wackestone* de color oscuro, con muy escasos foraminíferos planctónicos, briozoarios, crinoideos, braquiópodos, así como fragmentos de equinodermos (Flügel, 2010) (Figura 6.12). Ocasionalmente la roca puede mostrar laminación. Este ambiente se encuentra por debajo de la SWB (*Storm Wave Base*), por lo que la zona no es afectada por los eventos de tormenta.



Finalmente, se presenta un gráfico que muestra la distribución de las diferentes facies mencionadas a lo largo de una rampa carbonatada (Figura 6.13).

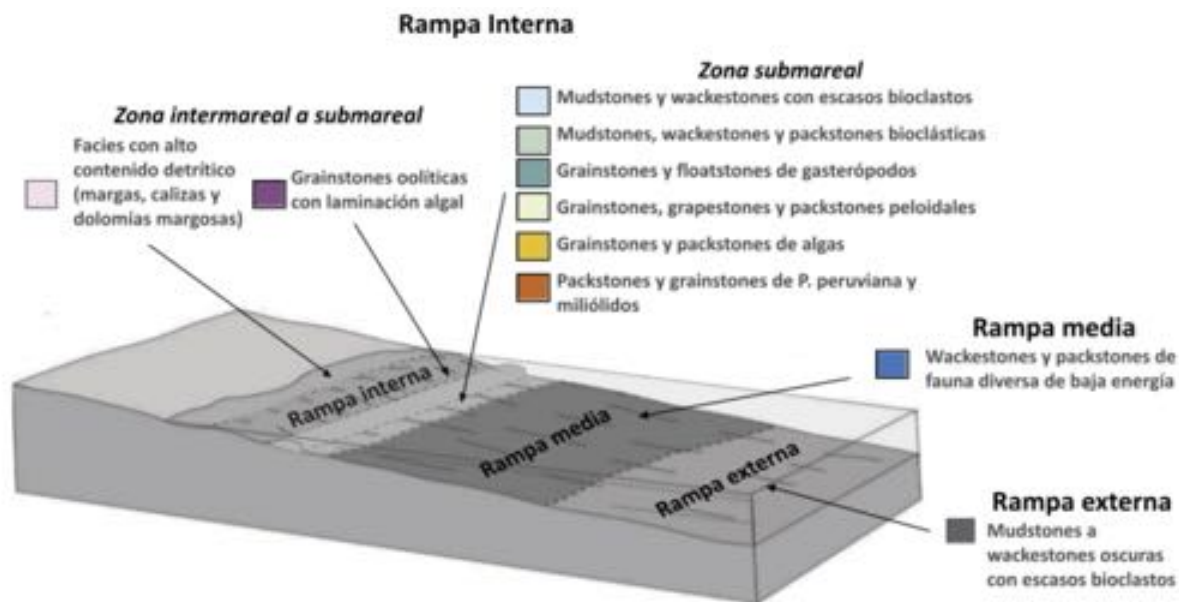


Figura 6.13: Distribución de facies sedimentarias de la Formación Jumasha en la rampa carbonatada estudiada. Los colores son los mismos que se utilizan en las columnas de facies. Modificado de Nichols (2009).

## 7. Descripción de rasgos diagenéticos

Se describen los principales procesos diagenéticos identificados en las rocas mediante el estudio petrográfico de secciones delgadas.

### 7.1. Micritización

Se trata de un proceso que implica el reemplazamiento de sedimentos carbonatados por carbonato de calcio de tamaño micrita ( $<4\mu\text{m}$ ) (Figura 7.1). Este proceso se debe a la acción de microbios, bacterias o algas que perforan las capas externas de los granos por donde ingresa el cemento micrítico (Adams y MacKenzie, 1998; Scholle y Ulmer-Scholle, 2003). Cuando la micritización es abundante puede alterar completamente a los granos, convirtiéndose estos en peloides (Adams y MacKenzie, 1998). Este proceso se ha podido observar en gran parte de ambas columnas, presentando distintas intensidades.

### 7.2. Cementación

Proceso por el cual los espacios entre granos se rellenan por la precipitación de nuevos

minerales de origen primario o secundario (Scholle y Ulmer-Scholle, 2003), los cuales son principalmente carbonatos (Adams y MacKenzie, 1998) (Figura 7.2). El cemento carbonatado puede mostrar una gran variedad de morfologías. En este trabajo, diferentes cementos fueron identificados sobre todo en las calizas *grainstone* bioclásticas y oolíticas.

### **7.3. Compactación**

Procesos mecánicos y químicos donde la roca pierde porosidad debido al aumento de presión y temperatura originados por la compactación durante el soterramiento (Adams y MacKenzie, 1998; Flügel, 2010). Implica una pérdida de agua y la deformación o reorientación de granos, como también la disolución por presión de granos formando estilolitos (Adams y MacKenzie, 1998; Scholle y Ulmer-Scholle, 2003). Rasgos de compactación se han podido apreciar principalmente en algunas *grainstone* oolíticas del Miembro Jumasha Medio en la Columna Chinche (Figura 7.3).

### **7.4. Reemplazamiento por sílice secundaria**

Durante el proceso de diagénesis puede ingresar a las rocas sílice secundaria de distintas fuentes, la cual puede depositarse tanto en forma de cuarzo criptocristalino, como en nódulos de chert o calcedonia (Adams y MacKenzie, 1998) (Figura 7.4). La presencia de chert se encuentra en distintas zonas de la Formación Jumasha, mostrando tamaños variables, desde milimétricos hasta pocos centímetros. Estos reemplazamientos no muestran relación particular con alguna de las facies determinadas.

### **7.5. Dolomitización**

La dolomitización es un proceso donde la calcita o el sedimento original es reemplazado por dolomita (carbonato de calcio y magnesio), este proceso puede ser parcial (Figura 7.5) o total (Flügel, 2010). Se puede mantener parcialmente la textura de la roca original, aunque otras

veces esta puede haber sido completamente reemplazada por la dolomita (Adams y MacKenzie, 1998). En este estudio, en la mayoría de los casos, la distinción de la dolomita con la calcita es solo posible gracias a la tinción con rojo de alizarina llevada a cabo para 15 secciones delgado-pulidas seleccionadas. Es posible también distinguirla por su tendencia a formar cristales rómbicos idiomorfos a diferencia de la calcita. (Adams y MacKenzie, 1998).

### **7.6. Dedolomitización**

La dedolomitización es la disolución o reemplazamiento de la dolomita por calcita por la influencia de aguas meteóricas (Adams & MacKenzie, 1998). Las dolomitas más propensas a ser dedolomitizadas son aquellas particularmente ricas en calcio o en hierro. En el momento de la dedolomitización, el hierro de la dolomita precipita como óxidos y produce coloraciones rojizas en las rocas (Flügel, 2010). Este proceso se observa en ciertos niveles del Miembro Jumasha Inferior y puede identificarse en cristales de dolomita idiomorfos con bordes corroídos, los cuales fueron reemplazados por calcita.

### **7.7. Pirita diagenética**

La pirita autigénica tiene la forma de cristales cúbicos euhedrales y se forma en las cercanías de material orgánico en condiciones reductoras (Flügel, 2010) (Figura 7.6). Como segunda opción no se descarta un posible origen relacionado a actividad hidrotermal en las rocas.

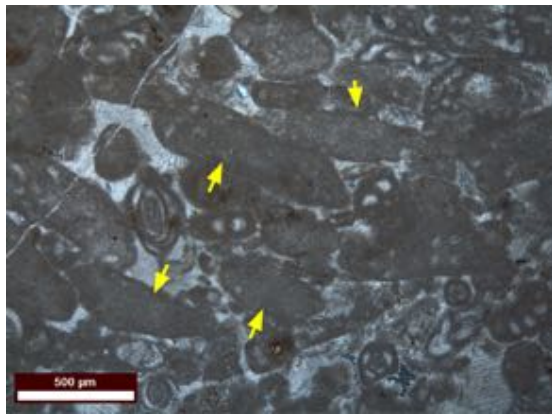


Figura 7.1: EX445128. XPL. Chinche JS. Grainstone bioclástica. Se observa micritización de los aloquemas (señalada por las flechas), formando peloides en ciertos casos.

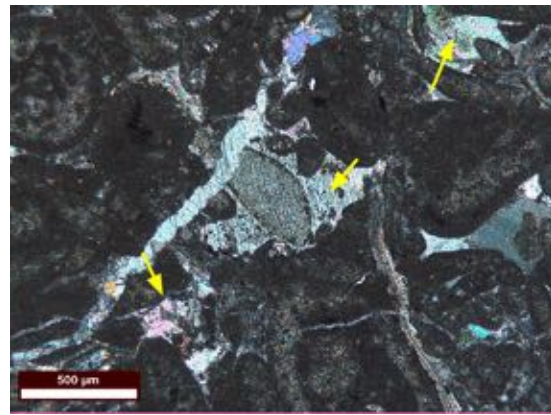


Figura 7.2: EX445119. PPL. Chinche JS. Se observa cemento esparítico (señalado por las flechas) en la muestra y una venilla posterior. Los colores de interferencia del cemento son los mismos que el aloquema al cual encierran (crinoideo), por lo que podría tratarse de un cemento syntaxial.

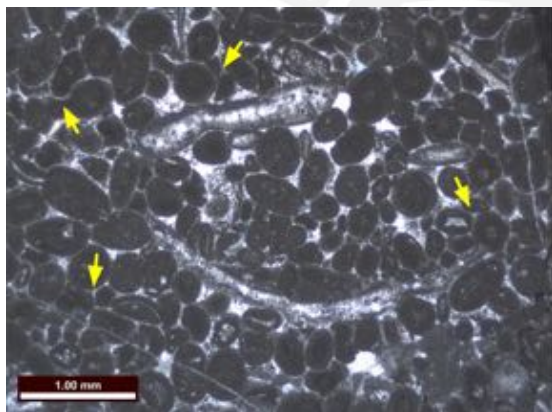


Figura 7.3: EX445147. XPL. Chinche JM. Grainstone peletoidal. Se observa cierta deformación de algunos granos debido a la compactación (señalado por las flechas).

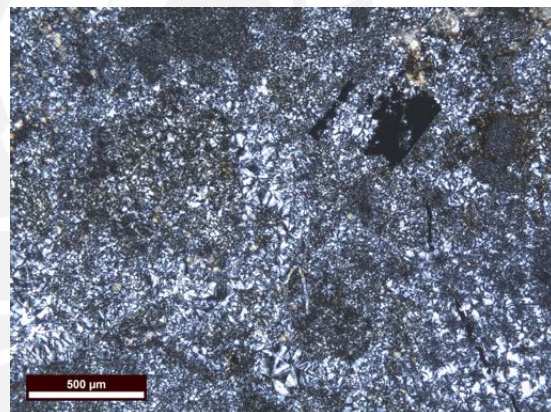
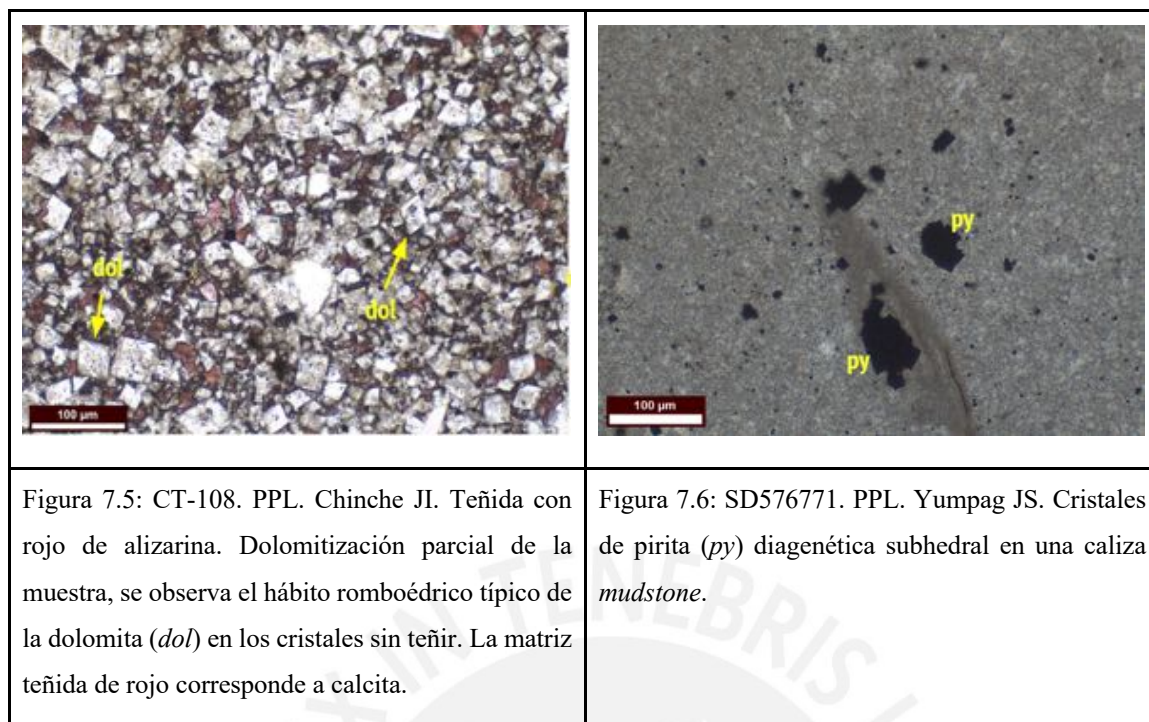


Figura 7.4: EX445173. Chinche JI. XPL. Reemplazamiento de la sección por calcedonia de origen secundario.



## 8. Análisis por XRD

Se analizaron 9 muestras por difracción de rayos-X (equipo Bruker D8 Discover) para determinar los minerales presentes en rocas de la Columna Chinche, cuyo análisis microscópico señala la posible presencia más o menos importante de minerales del grupo de las arcillas y/u otros componentes detríticos. Así mismo para semicuantificar la relación calcita/dolomita en rocas que no fueron expuestas a la tinción con rojo de alizarina.

- Muestra de difracción CTF-21A (análoga a sección EX445102 - miembro superior)

En esta muestra se identifica calcita (79%), cuarzo (14%), así como posible clinocloro (6%) y rutilo (1%). A pesar que la muestra corresponde a un banco contiguo a dolomías calcáreas (Figuras 9.73 y 9.74), se verificó mediante el análisis del difractograma la ausencia de dolomita, tal como se pensaba inicialmente. Además, se han podido identificar minerales del grupo de la illita que no han sido considerados en la cuantificación mineralógica, debido a limitaciones metodológicas.



El clinocloro es un aluminosilicato de Fe y Mg originado por la alteración hidrotermal de otros silicatos ricos en Fe y Mg derivados de rocas ígneas, por lo que su presencia podría evidenciar actividad hidrotermal.

- Muestra de difracción CTF-10 (análoga a sección EX445114 - miembro superior)

La muestra contiene calcita (89%), cuarzo (8%) y rutilo (4%). El análisis semi-cuantitativo confirma que el carbonato predominante es la calcita, que hay presencia de cuarzo y óxidos, coincidente con la identificación hecha en el estudio petrográfico de la sección EX445114. Se identifica también la presencia de minerales del grupo de las caolinitas que no pudieron ser identificados en la sección análoga, mediante el microscopio petrográfico.

- Muestra de difracción CT-16 (análoga a sección EX445131 - miembro medio)

Se identifica calcita (45%), cuarzo (33%), feldespatos (representado por 17% de sanidina) y un reducido porcentaje de dolomita (4%). El difractograma muestra picos correspondientes a arcillas del grupo de las illitas y caolinitas. En general, los minerales identificados coinciden con los minerales encontrados en el estudio petrográfico de la sección análoga EX445131, coincidiendo a grandes rasgos con la descripción original de wackestone margosa.

- Muestra de difracción CT-76 (análoga a sección EX445153 - miembro medio) (Figura 8.1).

Los minerales identificados son calcita (65%), dolomita (28%), cuarzo (5%) y rutilo (1%). Gracias al difractograma fue posible identificar la presencia significativa de dolomita que no había sido identificada bajo el microscopio petrográfico. La arcilla encontrada en esta muestra pertenece al grupo de las caolinitas. Integrando los resultados microscópicos y de difracción la roca se identificó como una caliza dolomítica.

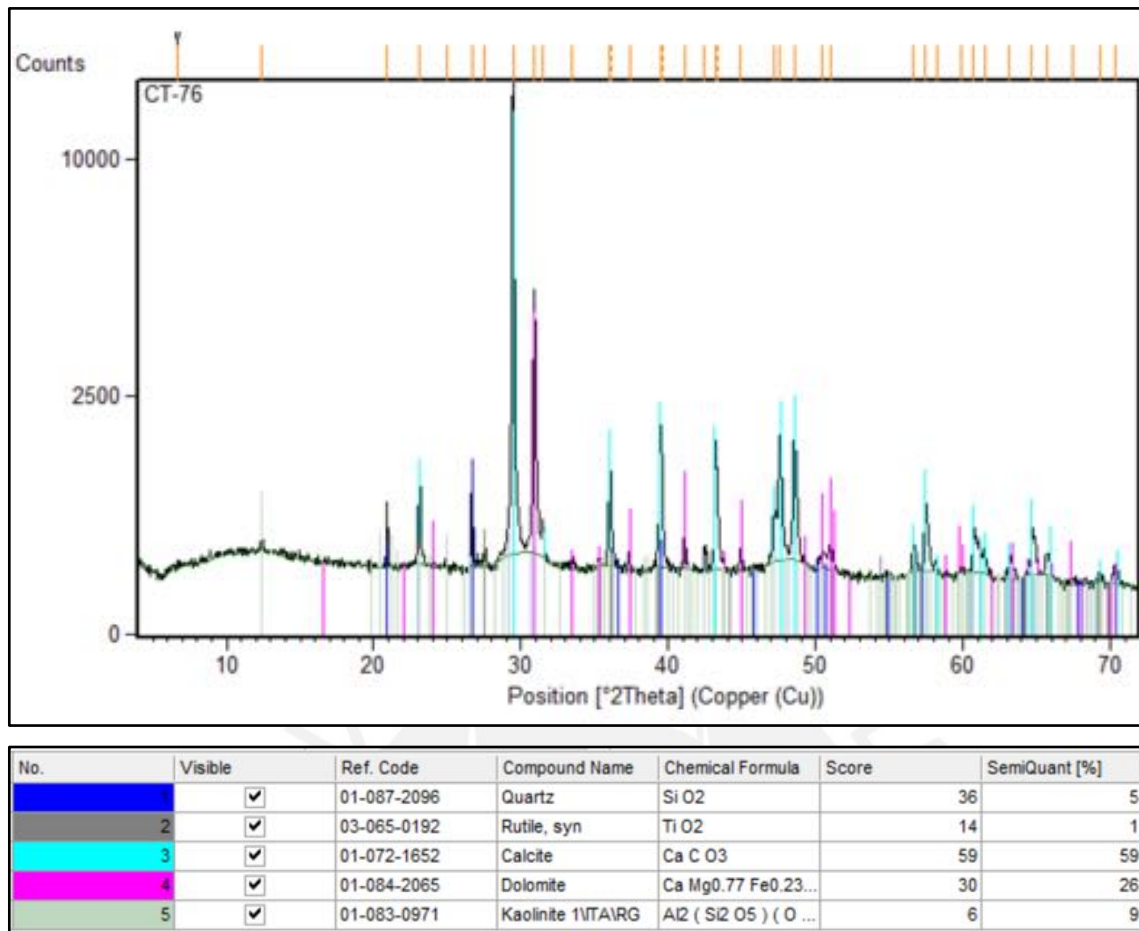


Figura 8.1: Difractograma de la muestra CT-76 y minerales identificados.

- Muestra de difracción CT-84 (análoga a sección EX445156 - miembro medio) (Figura 8.2).

Entre los minerales identificados se encuentran calcita (82%), dolomita (7%), cuarzo (10%) y rutilo (1%). Se identifican picos correspondientes a arcillas de los grupos de las illitas y caolinitas. En la sección análoga, tanto la dolomita como las arcillas no fueron identificadas mediante el uso de microscopio petrográfico, por lo que la difracción da un alcance adicional importante para la clasificación final de la roca.

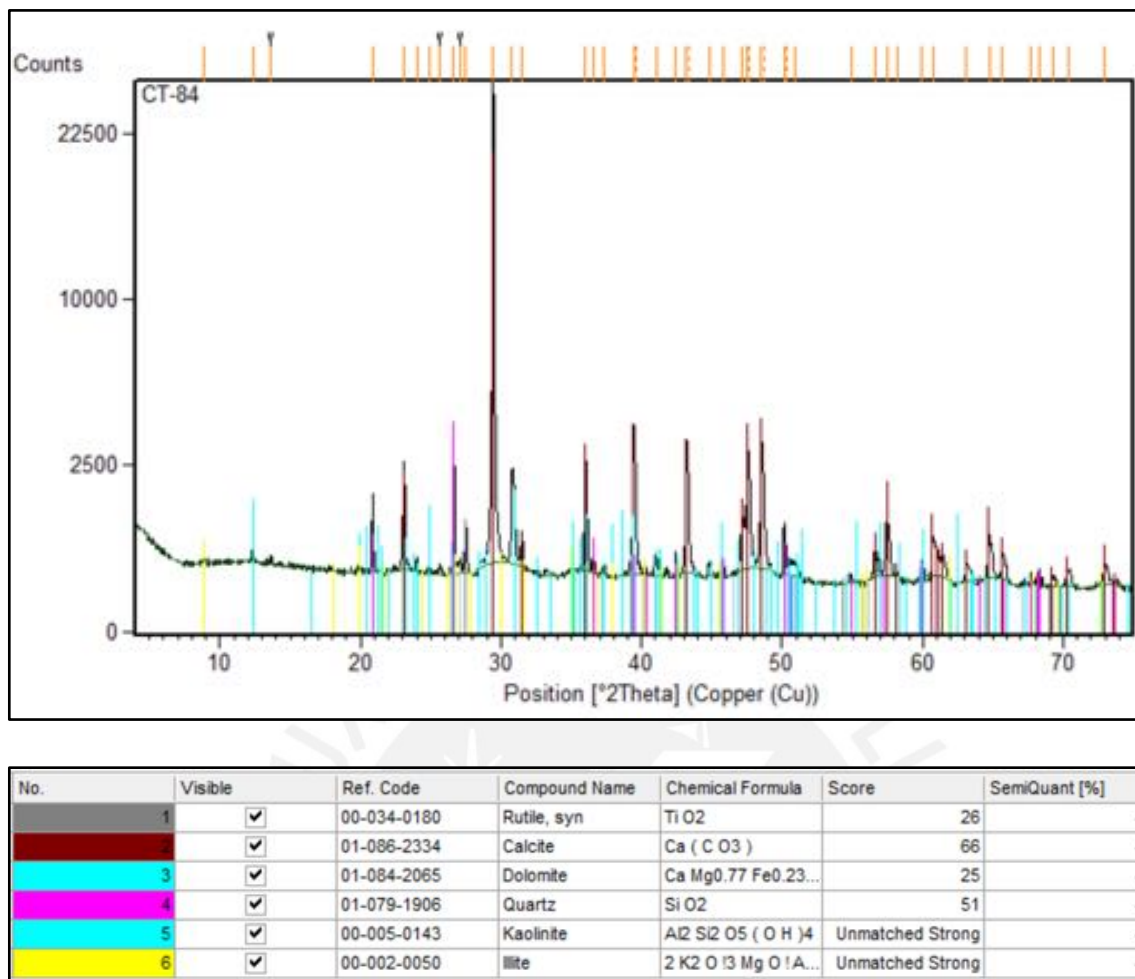


Figura 8.2: Difractograma de la muestra CT-84 y minerales identificados.

- Muestra de difracción CT-88 (análoga a sección EX445158 - miembro inferior)

Se encuentran cuarzo (68%), dolomita (11%), calcita (6%) y feldespatos (16%) (representados por microclina). La arcilla encontrada en esta muestra es del grupo de la caolinita. La composición mineralógica es muy similar a la de la sección EX445158 (extraída del mismo banco), confirmando que la matriz contiene cristales de dolomita.

- Muestra de difracción CT-97 (análoga a sección EX445161 - miembro inferior)

En esta muestra se encuentran calcita, dolomita, cuarzo, microclina y rutilo. Además, el difractograma permite identificar arcillas del grupo de la caolinita. Debido a las limitaciones del software, los minerales en esta muestra no han sido cuantificados. La sección análoga EX445161 confirma a grandes rasgos los resultados obtenidos por XRD.

- Muestra de difracción CT-160 (análoga a sección EX445181 - miembro inferior)

Se encuentran dolomita (82%), cuarzo (13%), calcita (4%) y arcillas del grupo de las illitas. A pesar que los contenidos de cuarzo difieren respecto a la sección análoga EX445181, la difracción confirma que la roca se trata de una dolomía con un porcentaje muy bajo de calcita.

- Muestra de difracción CT-168 (análoga a sección EX445183 - miembro inferior)

Se identifica dolomita (72%), calcita (24%) y cuarzo (4%). Según el difractograma, la muestra no contiene arcillas.

Finalmente, se muestra la posición estratigráfica de cada muestra en la columna (Tabla 8.1).

Tabla 8.1: Posición estratigráfica y miembro al que pertenece cada muestra analizada por XRD.

Muestra XRD	Columna	Miembro	Posición en la columna (m)
CTF-21A	Chinche	Jumasha Superior	924.00
CTF-10	Chinche	Jumasha Superior	854.00
CT-16	Chinche	Jumasha Medio	624.00
CT-76	Chinche	Jumasha Medio	323.00
CT-84	Chinche	Jumasha Medio	304.00
CT-88	Chinche	Jumasha Inferior	295.00
CT-97	Chinche	Jumasha Inferior	280.00
CT-160	Chinche	Jumasha Inferior	65.00
CT-168	Chinche	Jumasha Inferior	40.00

## **9. Descripción litológica, sedimentaria y diagenética de las columnas**

En este capítulo se presentan las columnas digitalizadas y las descripciones de las rocas detalladamente, para esto se toma en cuenta las descripciones microscópicas y la información registrada en el trabajo de campo. Además, se presentarán fotos y descripciones de las secciones delgadas más relevantes.

### **9.1. Columna Chinche**

La columna levantada en Chinche tiene una potencia de 928,20 metros, abarcando los tres miembros de la formación. La base del Miembro Jumasha Inferior se encuentra en contacto con la Formación Pariatambo, que está compuesta principalmente por calizas bituminosas. El techo del Miembro Jumasha Superior se encuentra en contacto con las margas de la Formación Celendín (Figura 5.3). Cabe señalar, que la topografía en algunas ocasiones imposibilitó la toma de datos, por lo que algunos bancos no han sido tomados en cuenta en el estudio por razones de seguridad, estos aparecen con una equis “X” en las columnas presentadas.

#### ***9.1.1. Miembro Jumasha Inferior***

Se presenta la columna del Miembro Jumasha Inferior en la zona de Chinche con sus respectivas facies (Figura 9.1).

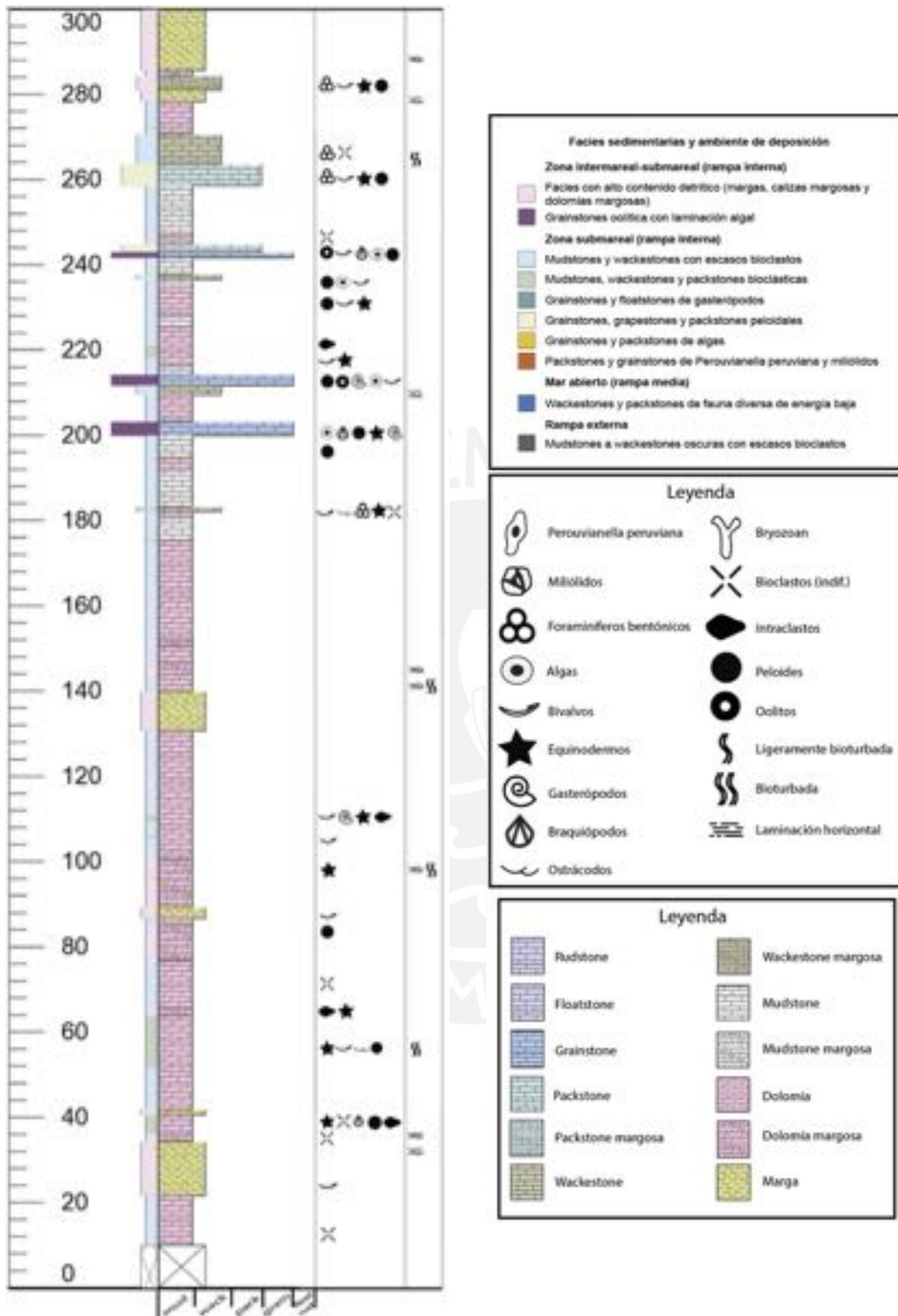
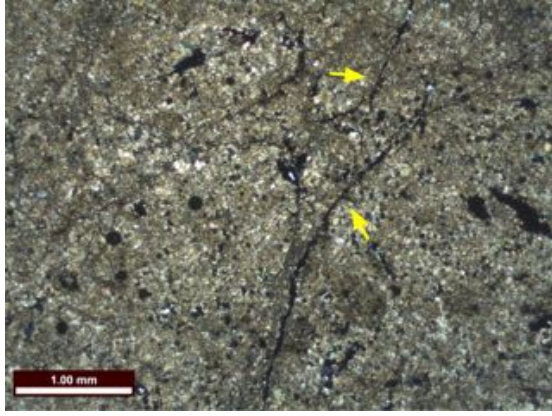
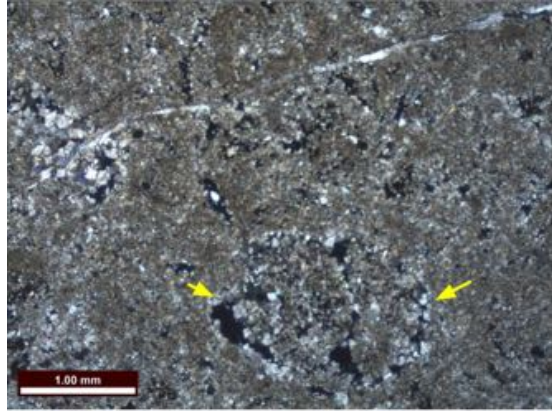
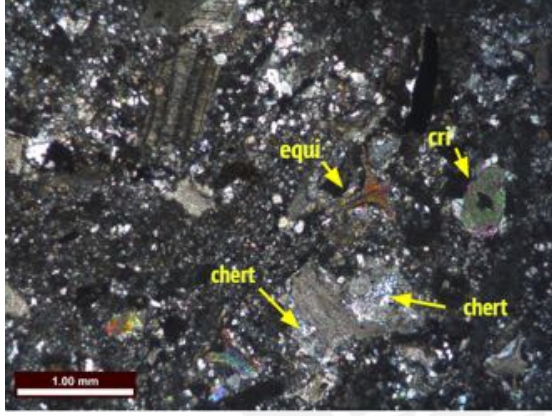



Figura 9.1: Columna estratigráfica y de facies del Miembro Jumasha Inferior en la zona de Chínche.

La Formación Jumasha se encuentra en su base en contacto concordante con las calizas bituminosas de la Formación Pariatambo, donde en los 10 primeros metros no se pudo recoger información por problemas de acceso. Luego, se observaron 11.60 m de dolomías de textura *mudstone* (Figuras 9.2 y 9.3) con presencia de bioclastos, los cuales se encuentran micritizados. Posteriormente, se identificaron 12.60 m de margas con presencia de bivalvos, venillas de bitumen y con laminación planar en el techo.

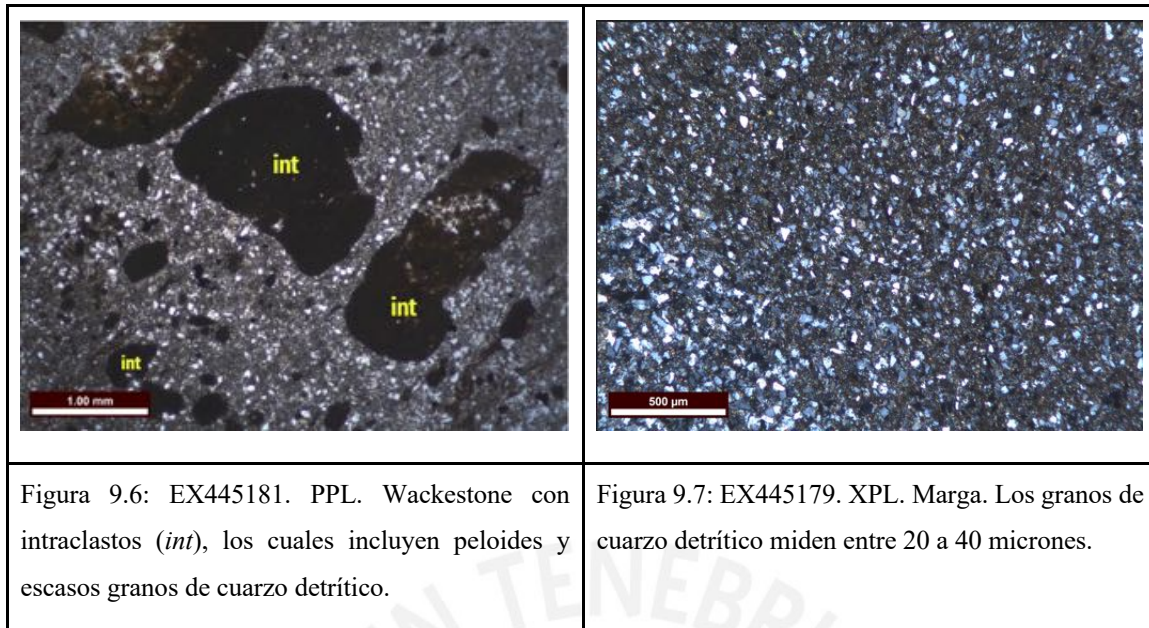
En los siguientes 10.20 m se observan intercalaciones de dolomías, dolomías calcáreas y margas, con contenidos de cuarzo detrítico de hasta 25%. La dolomía calcárea *wackestone* tiene presencia de equinodermos, braquiópodos, peloides, intraclastos y chert y la *mudstone* presenta laminación, estilolitos y hasta 1% de minerales opacos (Figura 9.4). Estas dolomías fueron analizadas por XRD, donde se pudo identificar dolomita, calcita y cuarzo.

Luego, presenta 21.10 m de dolomías *mudstone*, donde en los primeros 7.10 m se observa presencia de pirita y venillas de bitumen. En la parte media hay presencia de bioturbación moderada y de equinodermos, bivalvos, ostrácodos, peloides y hasta 2% de cuarzo detrítico. En los últimos 1.70 m se observa una dolomía *mudstone* margosa con intraclastos, equinodermos y entre 25 a 30% de cuarzo (Figuras 9.5 y 9.6). Los análisis XRD llevados a cabo para dichas dolomías indicaron presencia de dolomita, cuarzo, calcita y arcillas del grupo de las illitas.

	
<p>Figura 9.2: EX445186. XPL. Dolomía <i>mudstone</i>. Se observan moldes de venillas y bioclastos (señalados por flechas) que han sido disueltos.</p>	<p>Figura 9.3: EX445185. XPL. Dolomía <i>mudstone</i>. Se observa el molde de bioclasto (señalado por flechas), el cual ha sido disuelto.</p>
	
<p>Figura 9.4: EX445183. XPL. Dolomía calcárea <i>wackestone</i> con presencia de cuarzo detrítico tamaño limo, posibles equinodermos (<i>equi</i>), crinoideos (<i>cri</i>) y de chert.</p>	<p>Figura 9.5: EX445182. PPL. Se observan dos tonalidades de micrita y algunos bioclastos.</p>

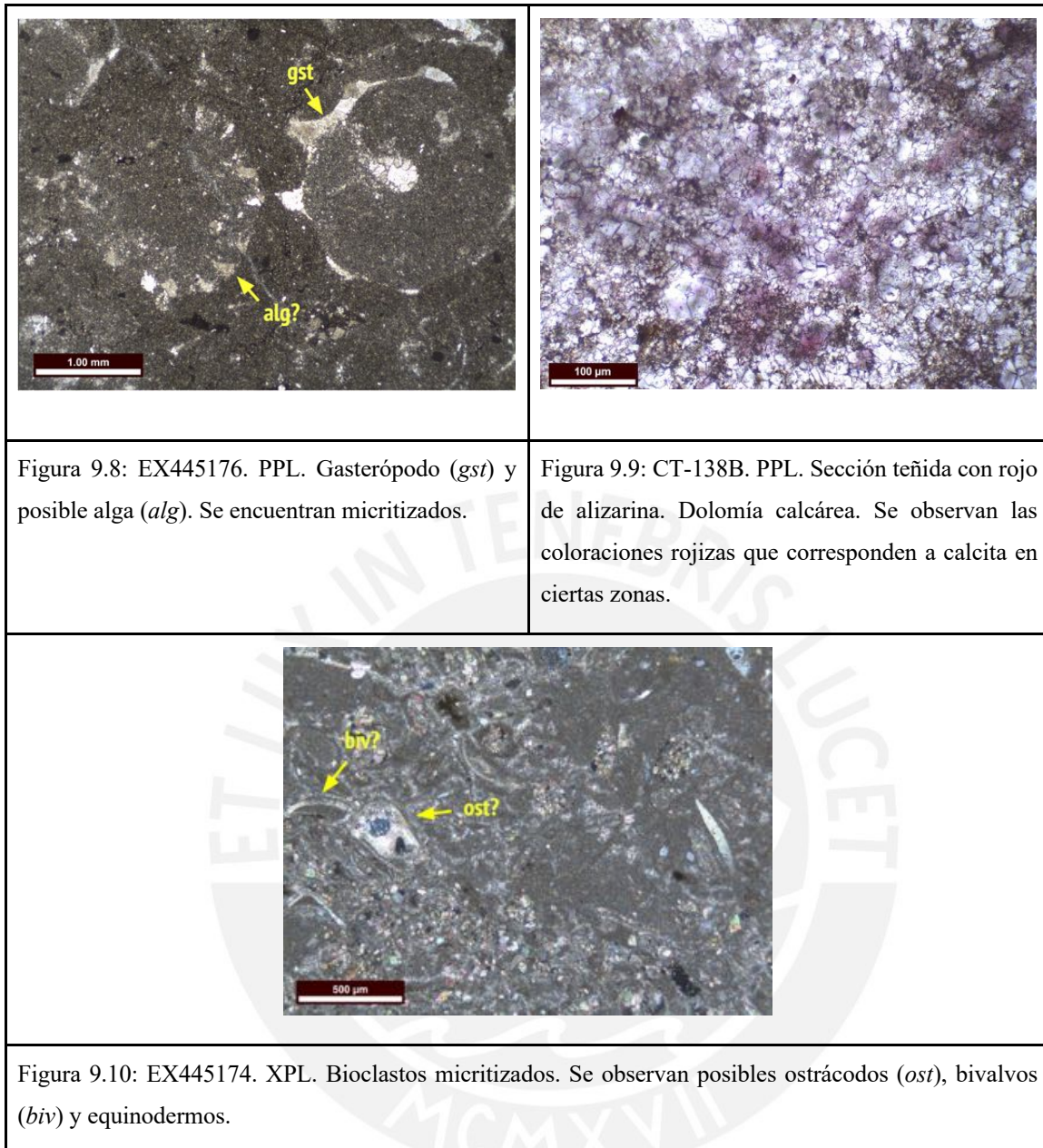
Posteriormente, del nivel 65.50 al 86.70, se tienen 21.20 m de dolomía *mudstone* con presencia de venillas de calcita y bitumen y ocasionalmente bivalvos y peloides en algunos niveles. Además, en los últimos 1.80 m hacia el techo, hay presencia de 1% de cuarzo detrítico y menos de 1% de minerales opacos. En los siguientes 11.30 m se encuentra una secuencia de margas y dolomías margosas. La marga presenta escasos bivalvos y la dolomía, venillas de calcita (Figura 9.7).



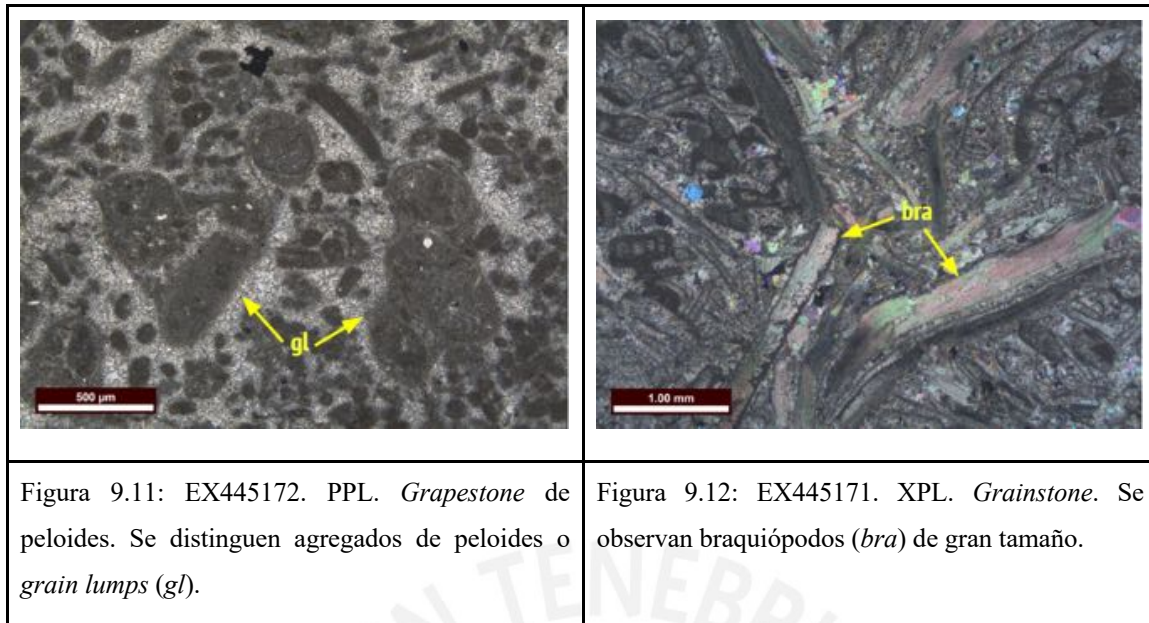


A continuación, siguen 32.70 m de dolomías, siendo los primeros 2.60 m de dolomía margosa bioturbada con presencia muy puntual de equinodermos y de opacos, menor al 1%. Luego, se observan bivalvos, los cuales se encuentran fuertemente micritizados. Al medio se observa un banco de 1.70 m de dolomía con presencia menor al 10% de gasterópodos, equinodermos, algas, intraclastos y peloides; los cuales se encuentran igualmente micritizados y fracturados en algunas zonas (Figura 9.8).

Suprayaciendo se observan 9.20 m de margas y en el techo aparecen 15.50 m de intercalaciones de dolomías, dolomías margosas y dolomías calcáreas (Figura 9.9), las cuales presentan laminación y bioturbación en la base. Luego, se observan 26.80 m de dolomías *mudstone* con un banco de 1 m de *wackestone* (Figura 9.10) en el techo, con presencia venillas de bitumen y de bivalvos, ostrácodos, foraminíferos y equinodermos. Después, se observan 16.80 m de intercalaciones de *mudstone* y dolomía con venillas de calcita, peloides, calcedonia y hasta 1% de minerales opacos en el techo (Figura 7.4).

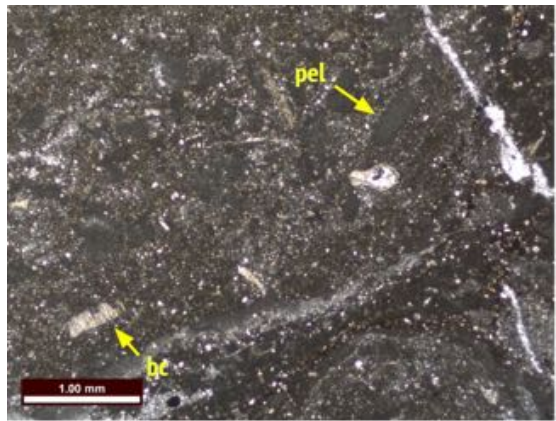
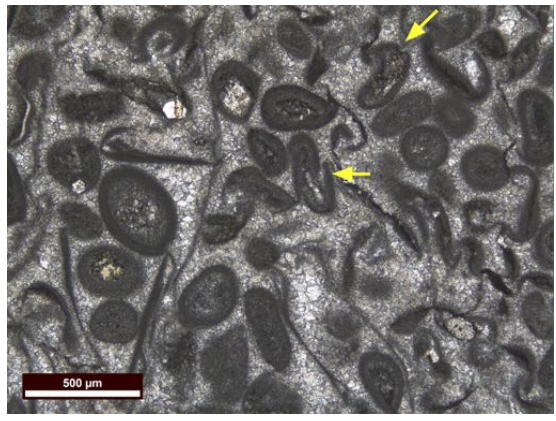
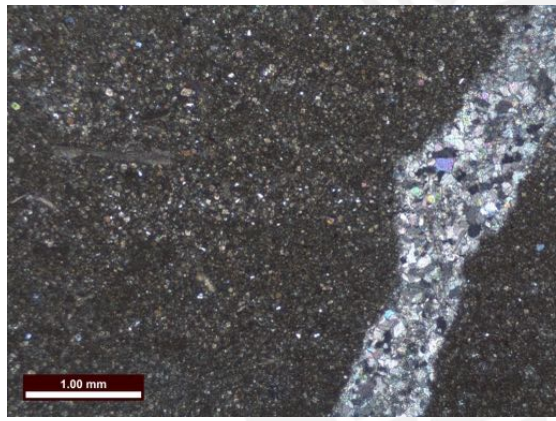
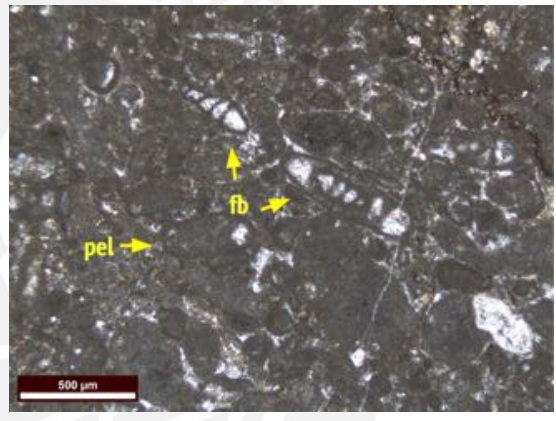


En el nivel 200, se observa un banco de 3.20 m de *grainstone* a *grapestone* de peloides y *grain lumps* en la base (Figura 9.11), con presencia de algas, braquiópodos, equinodermos y gasterópodos, venillas de bitumen, chert y 1% de cuarzo detrítico y minerales opacos en el techo (Figura 9.12). Luego, se observan 6.35 m de dolomías con venillas de calcita y 2.20 m de *wackestone* laminar con venillas de calcita. Posteriormente, se observa otro banco de *grainstone* (Figuras 6.3 y 6.4) de 2.50 m con peloides, oolitos, gasterópodos, algas, venillas de bitumen y 1% de minerales opacos. Además, presenta laminación algal.



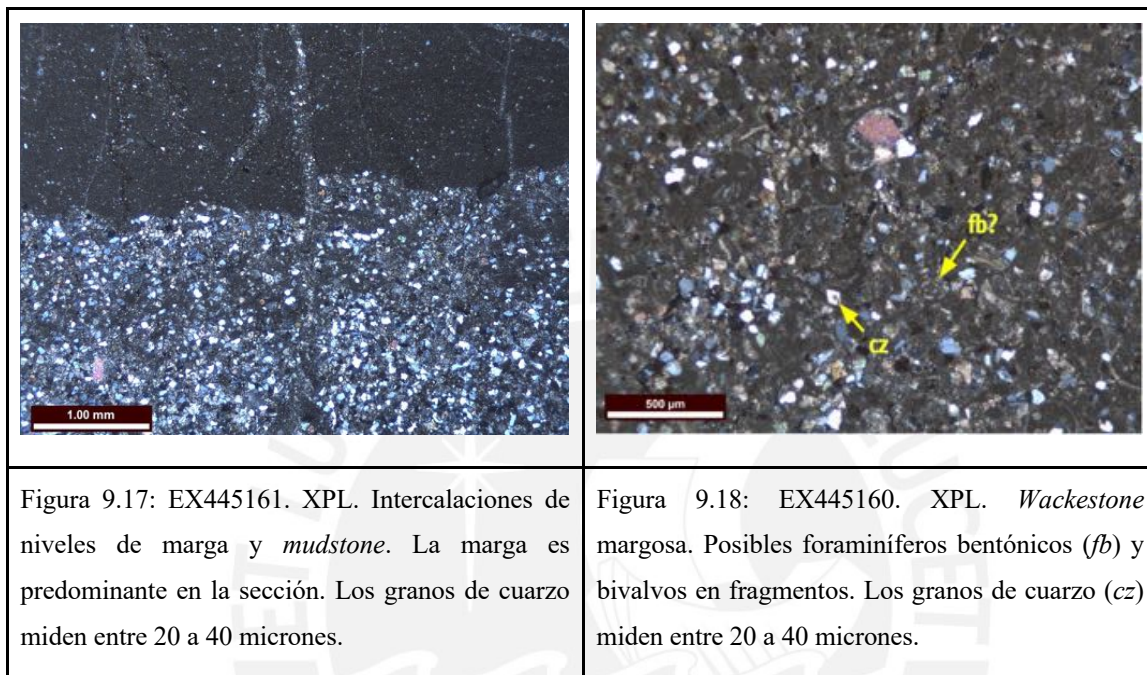
Luego, sigue una intercalación de 22.40 m de dolomías, dolomías calcáreas, *mudstone* y *wackestone* (Figura 9.13), donde se observa importante presencia de venillas de calcita. Los niveles de *mudstone* presentan bivalvos, peloides equinodermos y hasta 1% de cuarzo detrítico. Además, los aloquemas se encuentran micritizados y fracturados. En uno de los niveles de dolomía se observan intraclastos. En el techo se observa una secuencia de 8.20 m, la cual consta de un banco de 1.10 m de *wackestone* bioturbada con peloides, algas y bivalvos; seguida de 4 m de *mudstone* con bivalvos y venillas de calcita; luego 1.30 m de *grainstone* (Figura 9.14) con oolitos, bivalvos, braquiópodos y algas, los cuales presentan fracturamiento; y 1.80 m de *packstone* peletoidal.

Posteriormente, se observan 13.90 m de *mudstone* y dolomía calcárea (Figuras 7.5 y 9.15), la cual presenta en la base bivalvos, braquiópodos, venillas de calcita y menos de 1% de cuarzo detrítico. Además se encuentra bioturbada. Suprayaciendo, se encuentra un nivel de 4.90 m de *packstone* (Figura 9.16) micritizada con foraminíferos, bivalvos, equinodermos y peloides; presentando en el techo foraminíferos y bioturbación. Luego, se observan 7 m de *wackestone*, con presencia de foraminíferos en los 3 primeros metros, los cuales están micritizados.

	
<p>Figura 9.13: EX445166. PPL. <i>Wackestone</i> de peloides (<i>pel</i>) y bioclastos indiferenciados (<i>bc</i>).</p>	<p>Figura 9.14: EX445165. PPL. <i>Grainstone</i> oolítica. Se observa ligero fracturamiento en algunas zonas (señalado con flechas).</p>
	
<p>Figura 9.15: EX445164. XPL. Dolomía calcárea <i>mudstone</i> con muy escasos bioclastos indiferenciados. Se observa una venilla de calcita (derecha).</p>	<p>Figura 9.16: EX445163. XPL. <i>Packstone</i> de foraminíferos bentónicos (<i>fb</i>) y peloides (<i>pel</i>). Algunos aloquemias están micritizados.</p>

Hacia el techo del Miembro Jumasha Inferior, aparecen 7.75 m de dolomías calcáreas con presencia de venillas de calcita, 1% de cuarzo detrítico y 1% minerales opacos en la base. Luego sigue un banco de 2.70 m de margas (Figura 9.17), cuyos análisis por XRD indican presencia de calcita, dolomita, cuarzo, microclina, rutilo y arcillas del grupo de las caolinitas. En el nivel 278.40, se observa un banco de 3.30 m de *wackestone* margosa (Figura 9.18) micritizada con foraminíferos, bivalvos y equinodermos, con un contenido de hasta 25% de cuarzo detrítico. Después, se observa un banco de 1.30 m de dolomía margosa, un banco de

4.30 m de margas con 5% de minerales opacos. Finalmente, se tiene un banco de 10 m de intercalaciones de margas dolomíticas y dolomías margosas. Los análisis por XRD realizados a dichas margas dolomíticas, indican presencia de cuarzo, dolomita, calcita, microclina y arcillas del grupo de las caolinitas.



### 9.1.2. Miembro Jumasha Medio

Se presenta la columna estratigráfica del Miembro Jumasha Medio con sus respectivas facies (Figura 9.19).

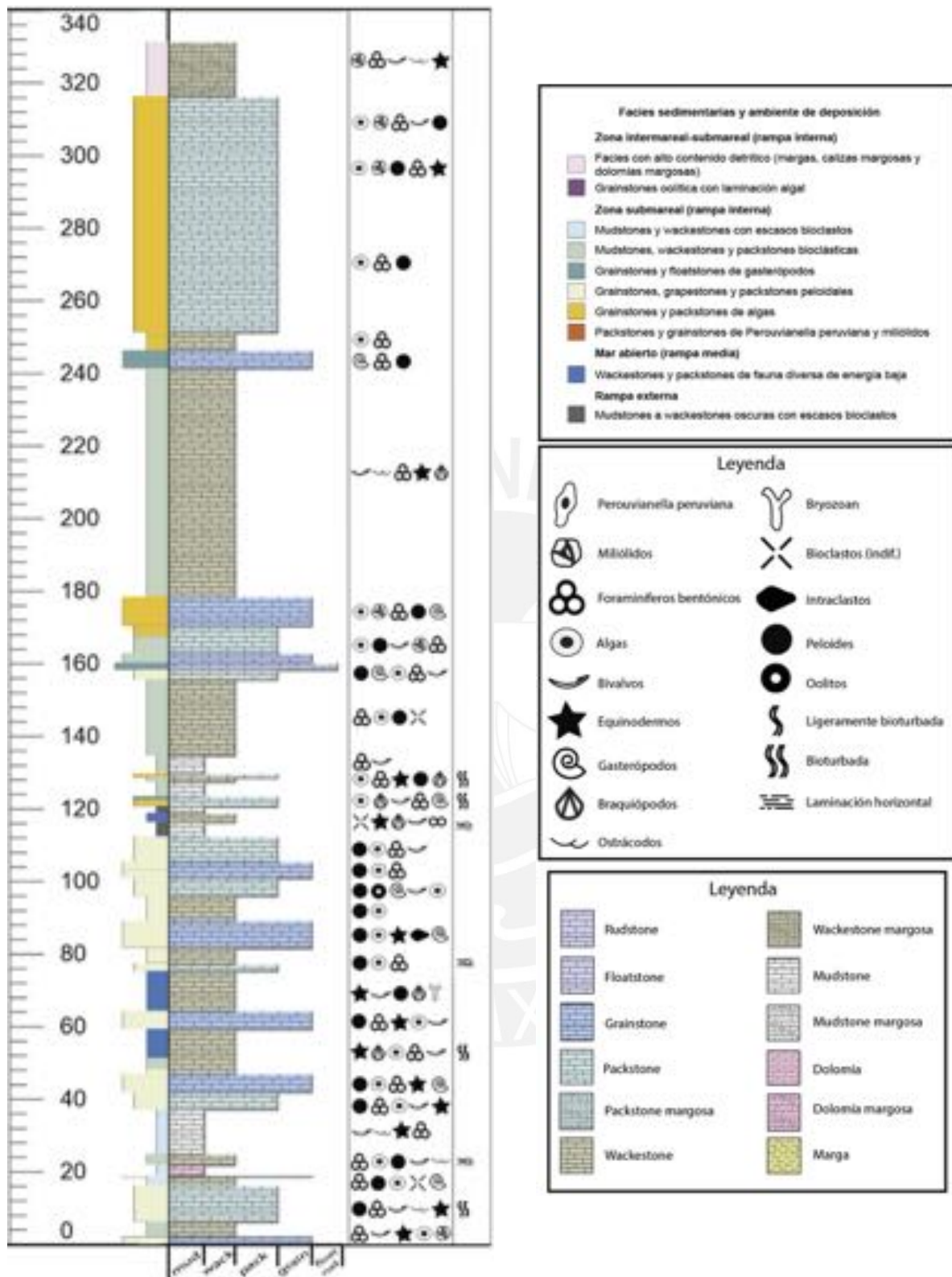
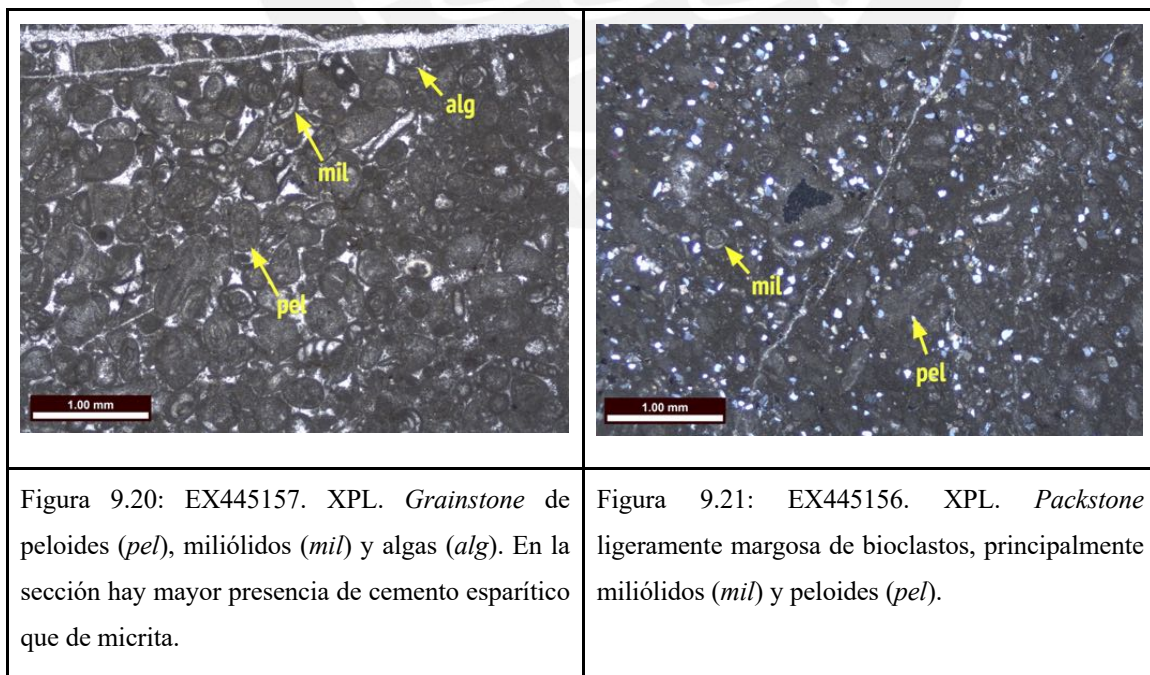


Figura 9.19: Columna estratigráfica y de facies del Miembro Jumasha Medio en la zona de Chinche.

La secuencia del Miembro Jumasha Medio inicia con 2 m de *grainstone* (Figura 9.20) de peloides, miliólidos, otros foraminíferos, algas y equinodermos; los cuales se encuentran fuertemente micritizados. Estos son suprayacidos por 14 m de *packstone* (Figura 9.21) y

*wackestone* micritizada de miliólidos, otros foraminíferos, bivalvos, ostrácodos, equinodermos y peloides, la cual presenta hasta 8% de cuarzo detrítico en los primeros 4 metros y se encuentra bioturbada en los otros 10 m. Los análisis por XRD de dichas calizas *wackestone* indican presencia de calcita, dolomita, cuarzo, rutilo, arcillas del grupo de las illitas y caolinitas. Luego, se tiene 2.5 m de *wackestone* de foraminíferos y 0.40 m de *grainstone* de peloides, algas, foraminíferos, bivalvos y menos de 1% de cuarzo detrítico (Figura 9.22).

En el nivel 18.90 se encuentran 2.80 m de dolomía calcárea *mudstone* laminar de algas y peloides, seguidos de 3 m de *wackestone* dolomítica ligeramente margosa con 5% de cuarzo detrítico y foraminíferos, bivalvos, ostrácodos y peloides; cuyo análisis por XRD indicó presencia de calcita, dolomita, cuarzo, rutilo y arcillas del grupo de las caolinitas. Luego, se observan 12.40 m de *mudstone* de bivalvos, ostrácodos, equinodermos y foraminíferos; también, presentan venillas de calcita y de bitumen (Figura 9.23). Después, aparecen 4.70 m de *packstone* de peloides, foraminíferos, algas, bivalvos y equinodermos. Esta presenta venillas de calcita, estilolitos y hasta 1% de cuarzo detrítico.



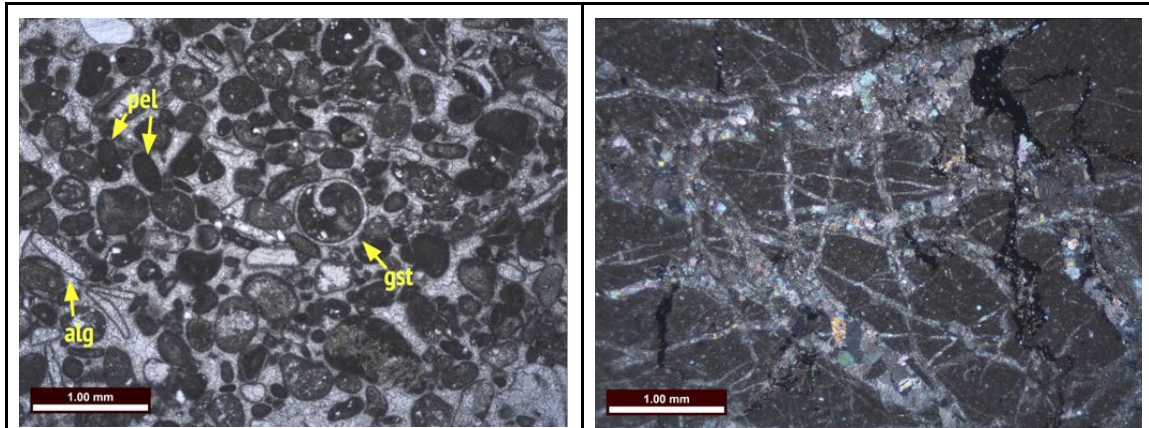


Figura 9.22: EX445154. PPL. *Grainstone* de peloides (*pel*), algas (*alg*) y gasterópodos (*gst*).

Figura 9.23: EX445152. XPL. *Mudstone* con aspecto brechoso y atravesada en distintas direcciones por venillas de calcita.

A continuación, se observa una intercalación de *grainstone* y *wackestone* (Figuras 9.24 y 9.25) de 33.30 m. Estas presentan hasta 1% de cuarzo detrítico, venillas de calcita y bitumen. Los bancos de *wackestone* se encuentran bioturbados y contienen equinodermos, bivalvos, algas, foraminíferos y peloides. Los bancos de *grainstone* se encuentran micritizados; uno presenta peloides, algas, foraminíferos y equinodermos y el otro, peloides, foraminíferos y equinodermos.

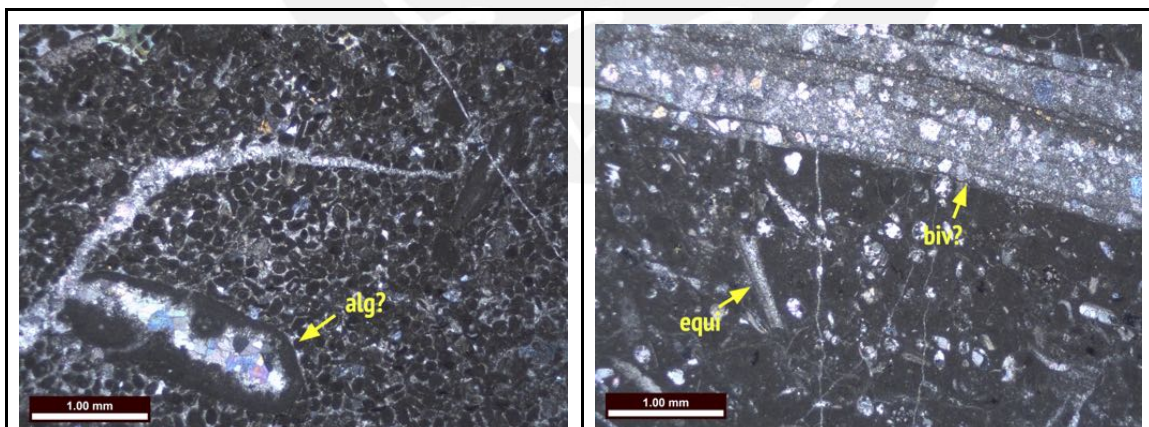


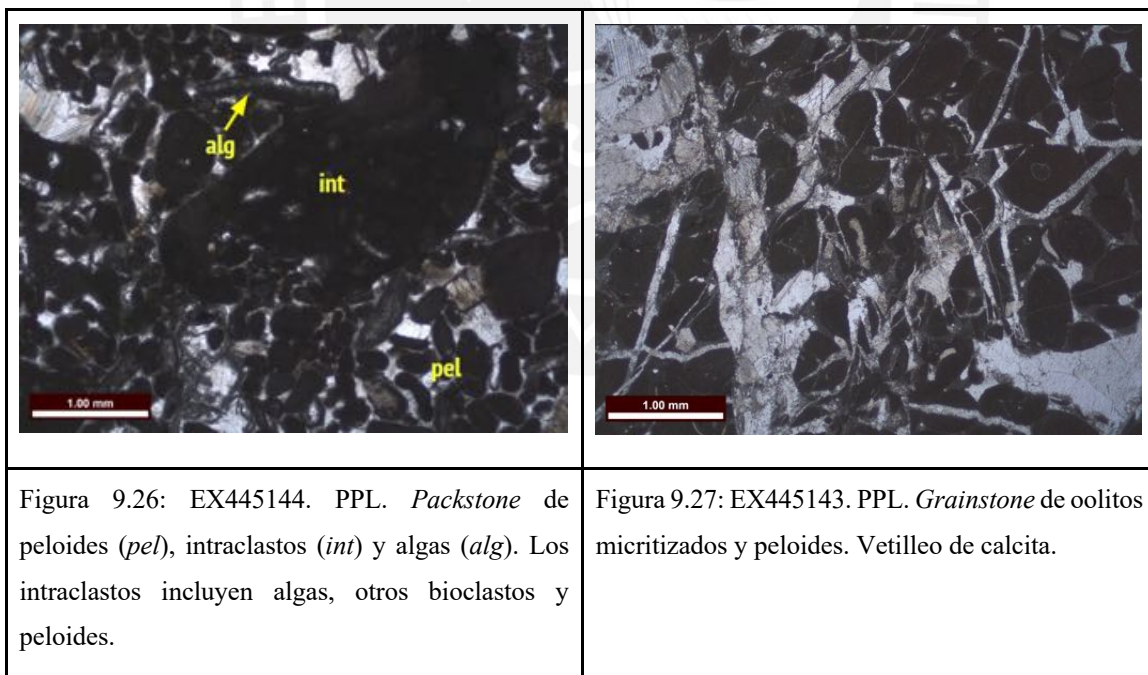
Figura 9.24: EX445150. XPL. *Grainstone* de peloides y posibles algas (*alg?*). Se observa micritización en los aloquemas.

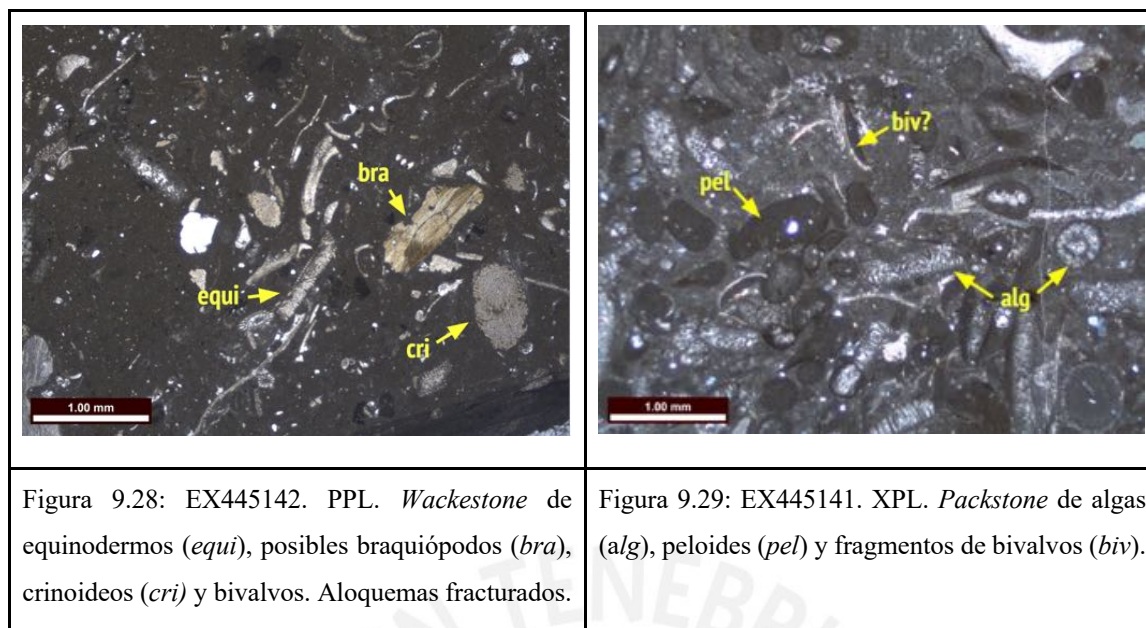
Figura 9.25: EX445149. XPL. *Wackestone* de algas, equinodermos (*equi*) y bivalvos (*biv?*). Se observa además, un posible bivalvo de gran tamaño.



En los siguientes 37.10 m, se encuentra una secuencia que inicia con *packstones*, continua con *grainstones* y culmina en *wackestones*. Esta secuencia se encuentra micritizada, predominando peloides y algas entre los aloquemas. En la *packstone* se observan también oolitos micritizados, gasterópodos, foraminíferos y bivalvos. En la *grainstone* aparecen equinodermos e intraclastos. Algunos aloquemas se encuentran fracturados (Figuras 9.26 y 9.27).

En el nivel 112.20, aparece otra secuencia de 22.30 m de *mudstone*, *wackestone* y *packstone* (Figuras 9.28 y 9.29). En los bancos de *wackestone* predominan equinodermos, braquiópodos, bivalvos y foraminíferos; presentan también venillas de bitumen, chert y fracturamiento en algunos aloquemas. La *packstone* se encuentra bioturbada, micritizada y contiene algas, braquiópodos, equinodermos, foraminíferos, gasterópodos y 1% de cuarzo detrítico. Luego, se observan 21 m de *wackestone* de foraminíferos, algas y peloides.





A continuación, se observa una secuencia de 7.20 m de *packstone*, *rudstone* y *grainstone*. El banco *packstone* contiene peloides, gasterópodos, foraminíferos, algas, bivalvos, venillas de calcita y hasta 1% de cuarzo detrítico. La *rudstone* se encuentra fuertemente micritizada y contiene peloides, gasterópodos y foraminíferos (Figura 9.30). Después, aparecen 7.50 m de *packstone* de algas, peloides, bivalvos y miliólidos y 8 m de *grainstone* micritizada de algas, miliólidos, otros foraminíferos, peloides y hasta 1% de cuarzo detrítico (Figura 9.31).

En el nivel 178.20, aparece una secuencia de 63 m de *wackestone* de bivalvos, ostrácodos, foraminíferos, equinodermos, venillas de calcita y hasta 3% de cuarzo detrítico (Figura 9.32). Luego, se observan 5 m de *grainstone* de gasterópodos, foraminíferos y peloides y 5 m de *wackestone* de algas y foraminíferos.

En los últimos bancos, en el nivel 251.20, se observan 39 m de *packstone* de algas, foraminíferos y peloides. Luego, 26 m de *packstone* micritizada de algas, miliólidos, otros foraminíferos, equinodermos y hasta 4% de cuarzo detrítico (Figuras 9.33 y 9.34). Por último, aparecen 15 m de *wackestone* margosa micritizada de miliólidos, bivalvos, otros foraminíferos, ostrácodos, equinodermos y hasta 30% de cuarzo detrítico (Figura 9.35). Los análisis por XRD

indican que dichas calizas *wackestone* contienen calcita, cuarzo, sanidina, dolomita y arcillas de los grupos de las illitas y caolinitas.

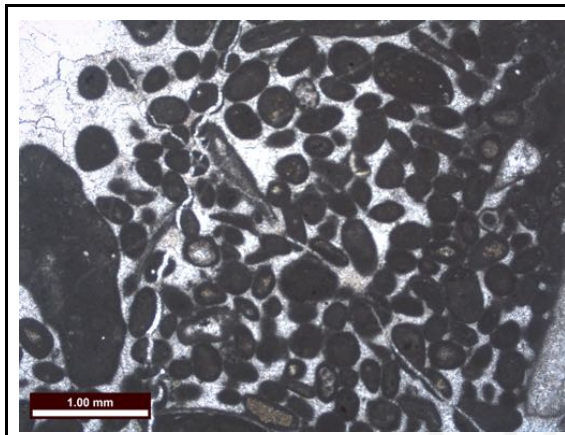


Figura 9.30: EX445137. PPL. *Rudstone* de gasterópodos. La foto corresponde a una parte de la roca en donde predominan peloides y algas micritizadas.

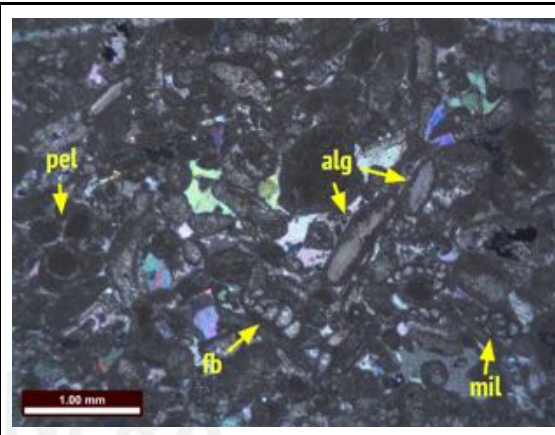


Figura 9.31: EX445136. XPL. *Grainstone* de algas (*alg*), miliólidos (*mil*), foraminíferos bentónicos (*fb*) y peloides (*pel*). Fuerte micritización.

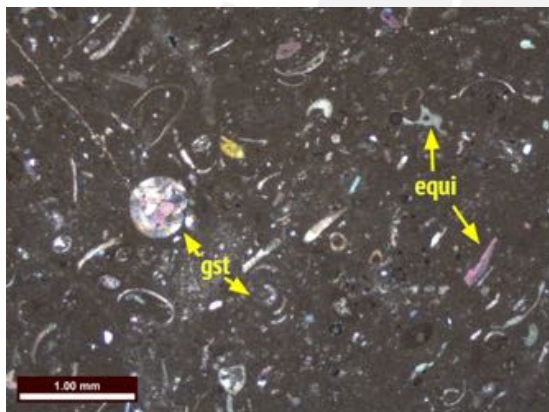


Figura 9.32: EX445134. PPL. *Wackestone* de equinodermos (*equi*), bivalvos y gasterópodos (*gst*). Algunos se encuentran fracturados.

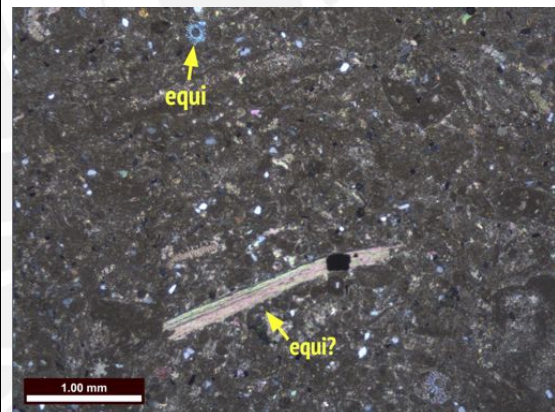
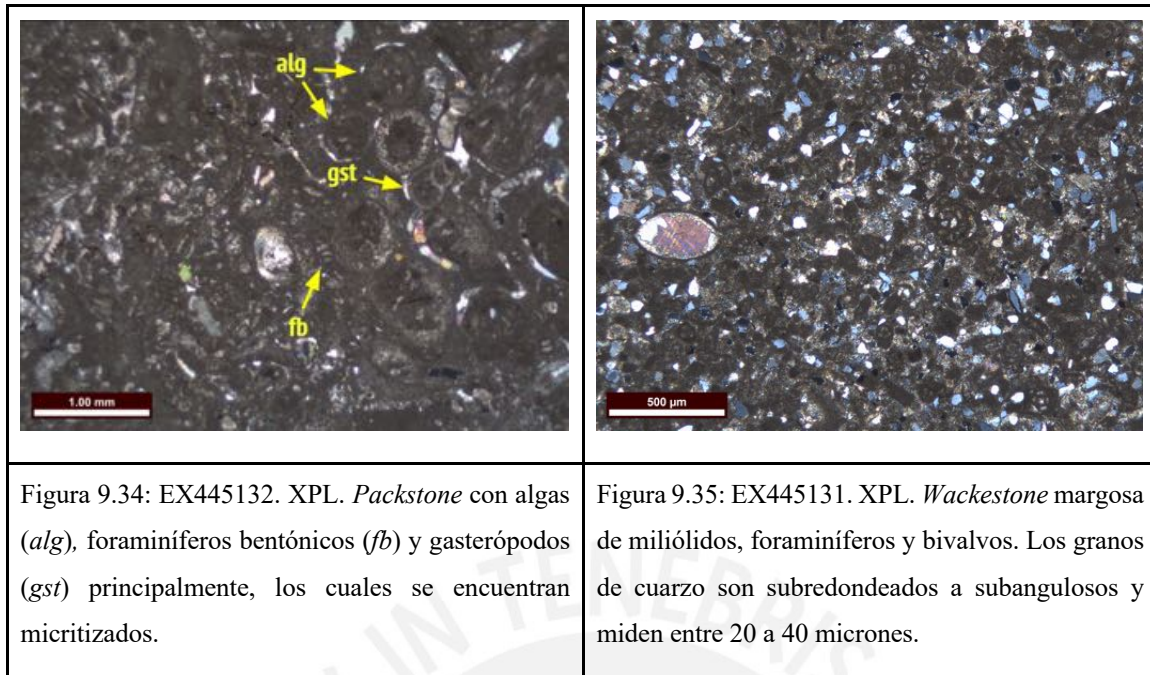


Figura 9.33: EX445133. XPL. *Packstone* de equinodermos (*equi*), peloides, foraminíferos y fragmentos de bivalvos. 3% de cuarzo detrítico.



### 9.1.3. Miembro Jumasha Superior

Se presenta la columna del Miembro Jumasha Superior en la zona de Chinche con sus respectivas facies (Figura 9.36).

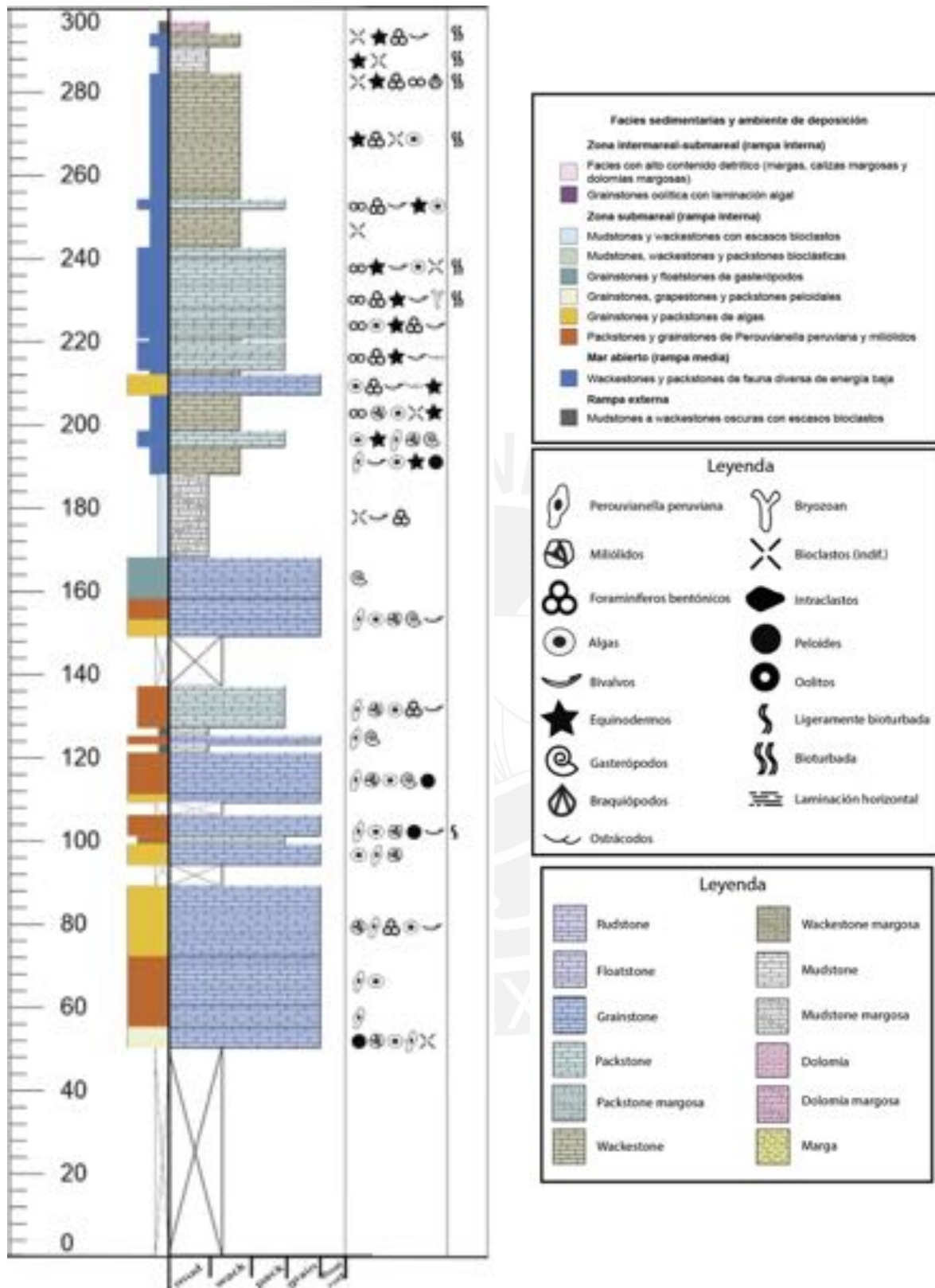


Figura 9.36: Columna estratigráfica y de facies del Miembro Jumasha Superior en la zona de Chinche.

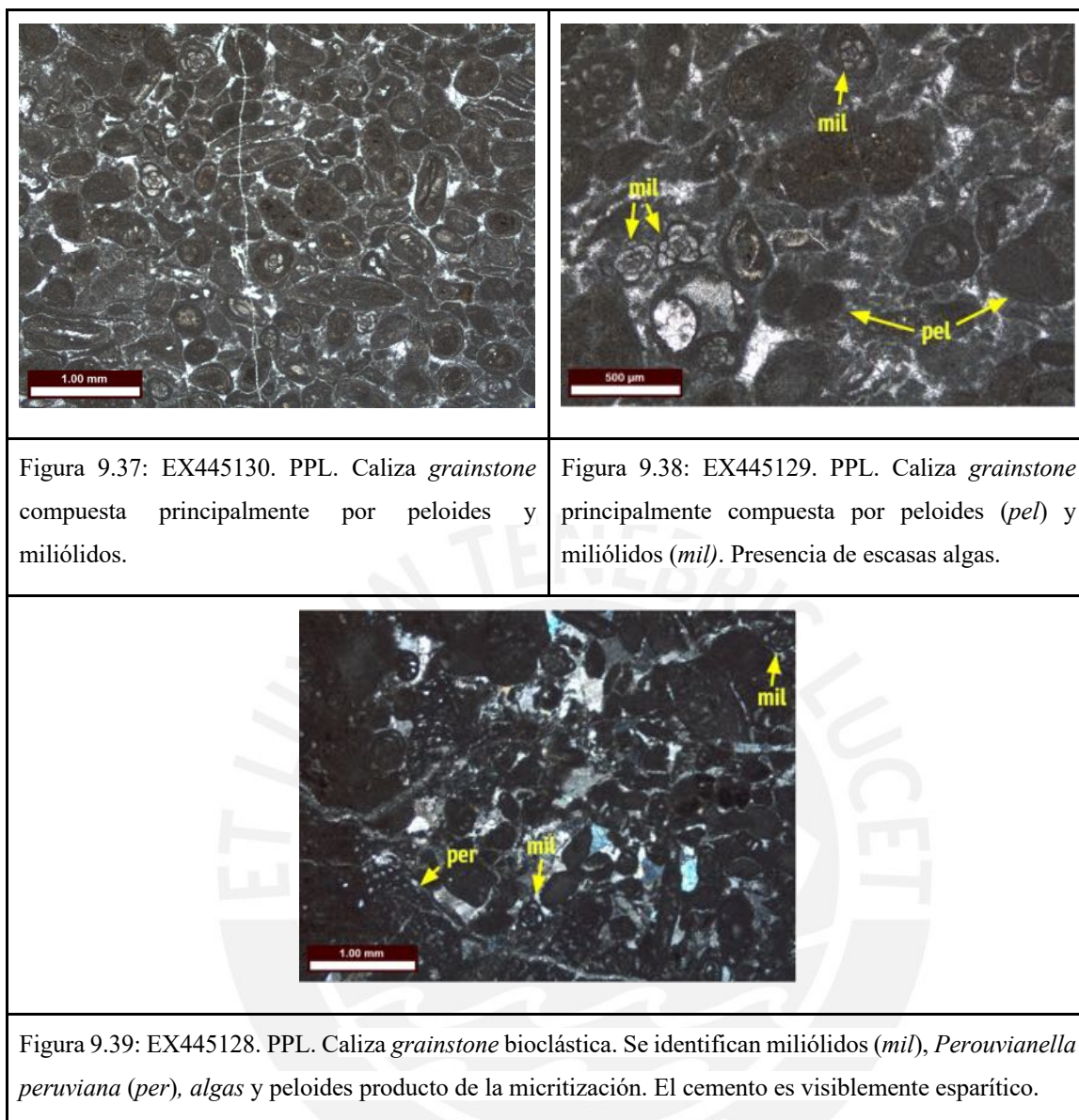
Al último banco del Miembro Jumasha Medio se le sobrepone un nivel de 50 m donde la topografía dificultó el acceso de la zona e impidió que se pueda mapear a detalle.

Inmediatamente después, se encuentran 5 m de calizas *grainstone* con peloides y miliólidos como bioclastos predominantes. Microscópicamente, se pueden observar otros aloquemas como algas, *Perouvianella peruviana* y muy escasos fragmentos de ostrácodos o bivalvos. Algunos aloquemas aparecen con forma peloidal debido a la micritización (Figura 9.37 y 9.38).

A continuación, se tienen 5 m de calizas *grainstone* con abundante *Perouvianella peruviana* en bancos de 40 cm intercalados con niveles de calizas *mudstone* que van desde los 20 hasta los 30 cm. Este banco es seguido por 10 m de calizas *grainstone* con foraminíferos bentónicos, *Perouvianella peruviana* y algas en bancos de 30 a 60 cm. En la base se encuentra una mayor cantidad de *Perouvianella peruviana* y en el techo más algas. Los siguientes 2 m hasta llegar al metro 72, se tienen esencialmente calizas *grainstone* con abundantes *Perouvianella peruviana* y algas.

Del metro 72 al 89 se tienen 17 m de calizas *grainstone* con miliólidos, *Perouvianella Peruviana*, otros foraminíferos bentónicos, algas y así como ocasionales bivalvos (Figuras 7.1 y 9.39). El cemento esparítico es dominante, pero la roca se encuentra a la vez micritizada por partes.

Los 5 siguientes metros no pudieron ser mapeados por dificultades de acceso, pero se identificó que inmediatamente después se mantuvo, por 5 m más, la litología de calizas *grainstone* con abundancia de algas, miliólidos y en menor proporción *Perouvianella peruviana*. Los bancos de este último nivel medían 30 a 50 cm.



En el metro 99, la *Perouviarella peruviana* pasa a ser predominante, siendo los primeros 2 m calizas *packstone* con *Perouviarella peruviana*, algas, miliólidos, peloides, ocasionales bivalvos y escasos briozoarios (Figura 9.40). Algunos de los bioclastos aparecen micritizados tomando la forma de peloides. La micrita como matriz es predominante, siendo posible también encontrar localmente cemento esparítico.

En los 5 m siguientes, aumenta la cantidad de foraminíferos alargados, teniéndose calizas *grainstone* ligeramente bioturbadas con *Perouviarella peruviana* dominante, seguidas por un banco de 3 m de difícil acceso que no pudo ser mapeado por razones de seguridad.

A continuación, aparecen 2 m de calizas *grainstone* con *Perouviarella peruviana* y gasterópodos dominantes en bancos de 50 cm de potencia. Seguidamente, se tienen 10 m de caliza *grainstone* con *Perouviarella peruviana*, miliólidos, y algas. La mayoría de aloquemas aparecen como peloides por la micritización, pero se logra ver rasgos distintivos de su estructura original (Figura 9.41), sobre todo utilizando un difusor de luz. En este último banco también se encontraron gasterópodos de 2 a 3 cm de tamaño en el campo.

Los siguientes 2 m se componen por calizas *mudstone* oscuras, seguidas por 2 m de calizas *grainstone* con abundantes *Perouviarella peruviana* y gasterópodos en bancos de 50 cm. A continuación, otro nivel de 2 m de calizas *mudstone* oscuras vuelve a aparecer y es seguido por un nivel de 10 m de calizas predominantemente de textura *packstone* con predominancia de *Perouviarella peruviana*, miliólidos y algas. En este último nivel también se encuentran otros foraminíferos bentónicos y ocasionales bivalvos. La roca se encuentra micritizada (Figura 9.42).

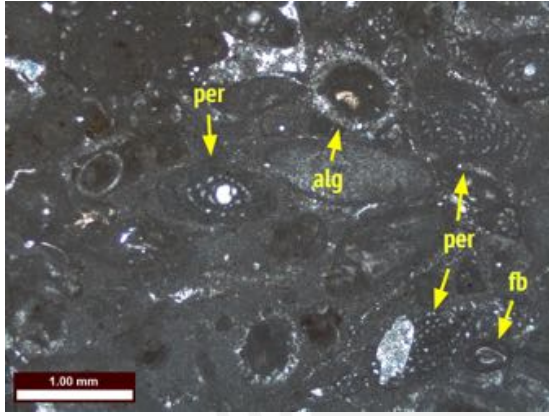
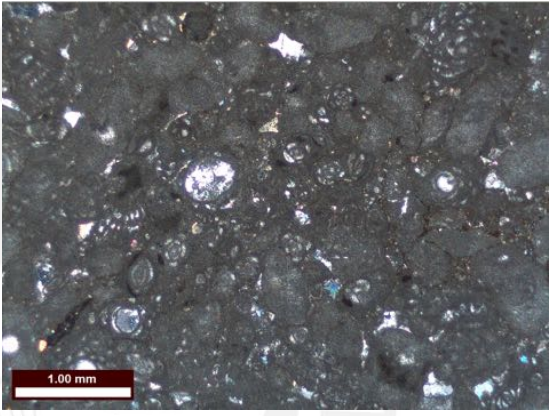

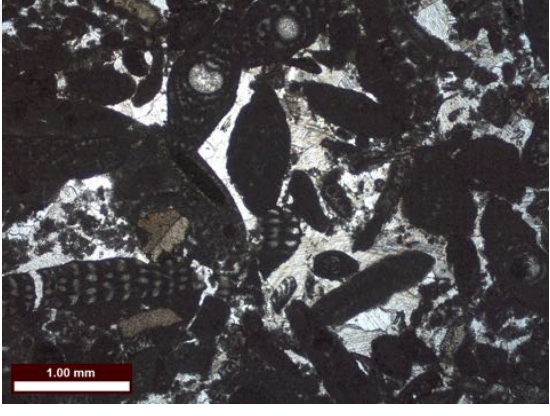
En los 12 m comprendidos entre los metros 137 y 149 no fue posible registrar datos. Después de este nivel, en el banco más accesible se encontraron 4 m de calizas *grainstone* con abundantes algas. En los siguientes 5 m se tienen calizas *grainstone* con *Perouviarella peruviana*, miliólidos y algas principalmente. Los gasterópodos también aparecen en la muestra, además de escasos bivalvos y equinodermos. Se encuentra micrita como matriz localmente (Figuras 9.43 y 9.44). En los siguientes 10 m se tienen calizas *grainstone* con gasterópodos.

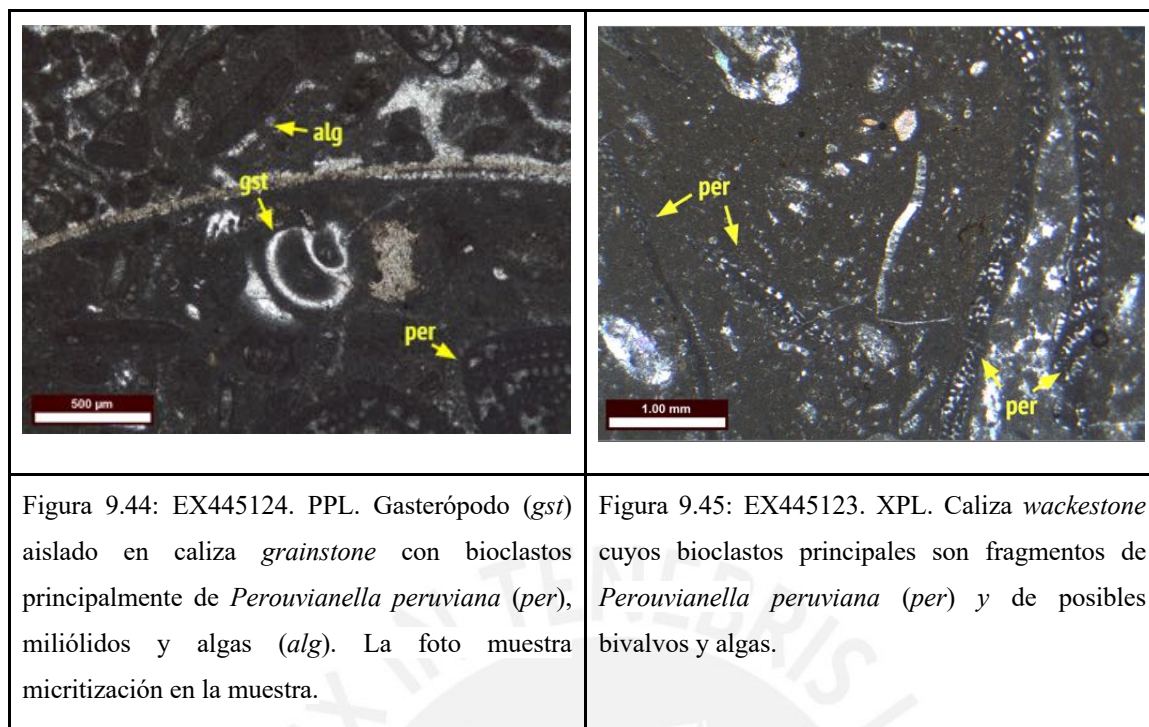
Inmediatamente después, se distingue un nivel de 20 m bastante más erosionado respecto a los bancos contiguos, por lo que se infiere que se trata de calizas con algún contenido de cuarzo detrítico. Los escasos bioclastos fueron bivalvos, fragmentos indiferenciados y foraminíferos. De este último banco no fue posible extraer muestras debido a la inclinación del



terreno, pero fueron tomadas como referencia algunas rocas desprendidas ubicadas en la carretera.

Posteriormente, 6.5 m calizas *wackestone* cuyos bioclastos principales son fragmentos de *Perouvianella peruviana*, fragmentos de bivalvos, algas y foraminíferos planctónicos. En la lámina delgada son distinguibles algunos aloquemias que fueron micritizados dejando solo moldes de forma de peloides (Figura 9.45).

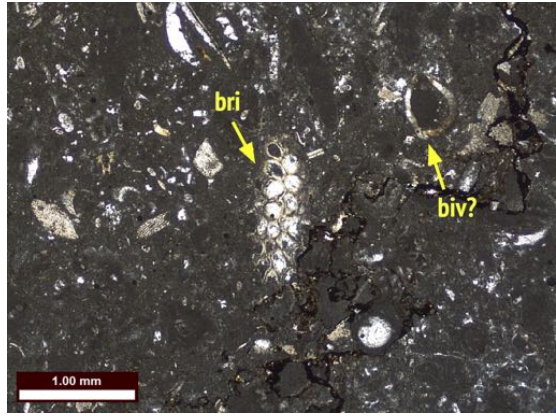
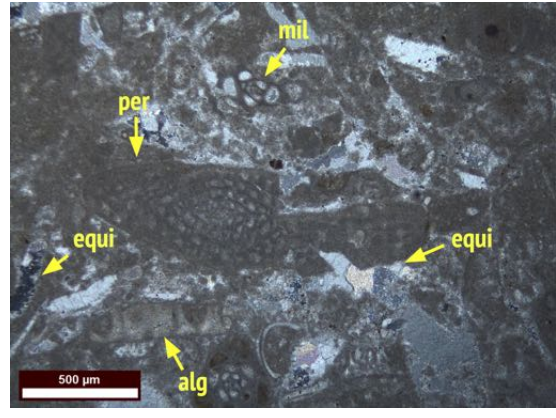

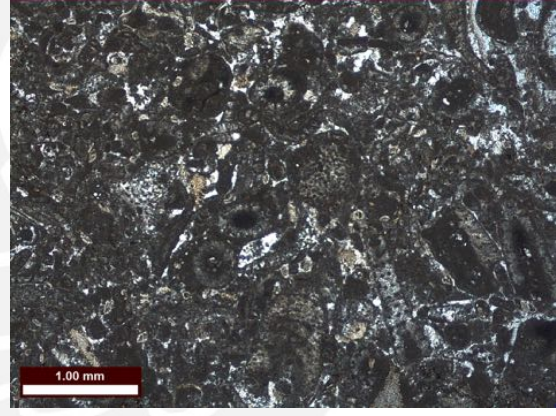
	
<p>Figura 9.40: EX445127. XPL. Calizas packstone con bioclastos, entre ellos, <i>Perouvianella peruviana</i> (<i>per</i>), algas (<i>alg</i>) y foraminíferos bentónicos (<i>fb</i>). Algunos peloides también son distinguibles.</p>	<p>Figura 9.41: EX445126. XPL. Caliza <i>grainstone</i> con bioclastos, entre ellos, miliólidos, <i>Perouvianella peruviana</i> y algas. Los bioclastos aparecen tomando apariencia peloidal por la micritización.</p>
	
<p>Figura 9.42: EX445125. PPL. Caliza packstone con bioclastos de <i>Perouvianella peruviana</i> (<i>per</i>), miliólidos (<i>mil</i>) y algas.</p>	<p>Figura 9.43: EX445124. PPL. <i>Perouvianella peruviana</i>, miliólidos y algas flotando en cemento esparítico de una caliza <i>grainstone</i>.</p>

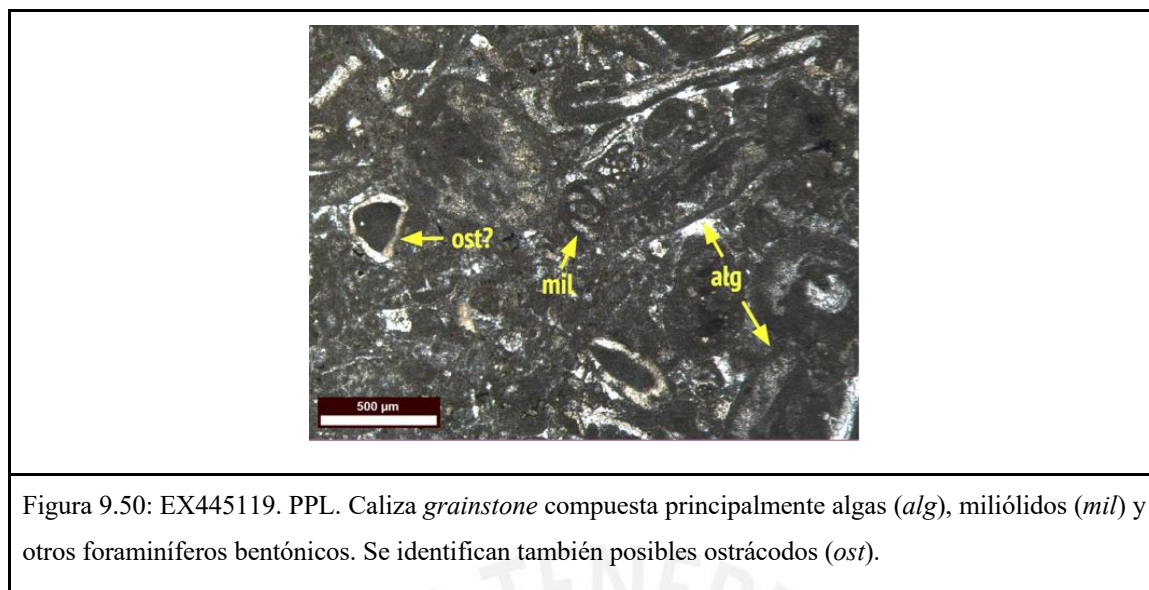


En el metro 194.50 se tienen 4 m de calizas *packstone* con algas, equinodermos y *Perouvianella peruviana* dentro de los bioclastos predominantes. Ocasionales bivalvos, equinodermos, briozoarios y gasterópodos también se identifican en la lámina delgada (Figuras 9.46 y 9.47). Los aloquemias se encuentran micritizados en parte. Localmente la muestra presenta cemento esparítico.

A continuación, un banco de 8.5 m de calizas *wackestone* con foraminíferos planctónicos, miliólidos, algas, ocasionales bivalvos y muy escasos equinodermos. En este banco los aloquemias se encuentran fragmentados y algunos son identificados únicamente como bioclastos indiferenciados (Figura 9.48).

Al banco anterior se le sobreponen 5 m de calizas *grainstone* con abundantes algas, miliólidos y otros foraminíferos bentónicos. Se pueden encontrar también ocasionales ostrácodos, braquiópodos, equinodermos (Figura 9.49, 9.50).

	
<p>Figura 9.46: EX445122. PPL. Briozoarios (<i>bri</i>) y fragmentos de posibles bivalvos (<i>biv</i>) identificados en caliza <i>packstone</i> bioclástica.</p>	<p>Figura 9.47: EX445122. PPL. Cemento esparítico local aislado en caliza <i>packstone</i> bioclástica. <i>Perouianella peruviana</i> (<i>per</i>), miliólidos (<i>mil</i>), algas (<i>alg</i>) y equinodermos (<i>equi</i>) son distinguidos en esta imagen.</p>
	
<p>Figura 9.48: EX445121. XPL. Caliza <i>wackestone</i> con bioclastos indiferenciados fragmentados.</p>	<p>Figura 9.49: EX445120. PPL. Caliza <i>grainstone</i> con algas y foraminíferos bentónicos como bioclastos principales. Se encuentran también ocasionales braquiópodos, posibles ostrácodos y equinodermos.</p>



En el metro 212 se encuentra 1 m de caliza *wackestone* (hasta *packstone* por sectores) con abundantes foraminíferos planctónicos y algunos relictos de algas (Figura 9.51). A continuación, se encuentran 7 m de calizas *packstone* con abundantes foraminíferos planctónicos y bentónicos, equinodermos, y bivalvos. También se aprecian ocasionales ostrácodos, algas, braquiópodos, briozoarios y se distinguen escasos extraclastos de cuarzo (3%) (Figuras 9.52 a 9.54). En los siguientes 0,70 m vuelven a aparecer calizas *wackestone* con foraminíferos planctónicos.

Desde el metro 220.70 al 224.90 m son predominantes las calizas *packstone* con matriz micrítica. En el primer metro las calizas *packstone* contienen una importante variedad de foraminíferos planctónicos, equinodermos, bivalvos, ostrácodos, algas y miliólidos (Figura 9.55); además, se identifica en la lámina delgada también 2% de extraclastos de cuarzo.

Los siguientes 2 m comprenden calizas *packstone* (hasta *wackestone*) con foraminíferos planctónicos y algas predominantemente, además de ocasionales equinodermos, bivalvos, braquiópodos y miliólidos (Figura 9.56). Bajo el microscopio se aprecian muy escasos extraclastos de cuarzo (0.5%) y se identifican zonas con óxidos. Para dichas rocas, los análisis por XRD indicaron la presencia de calcita, cuarzo, rutilo y arcillas del grupo de las caolinitas.

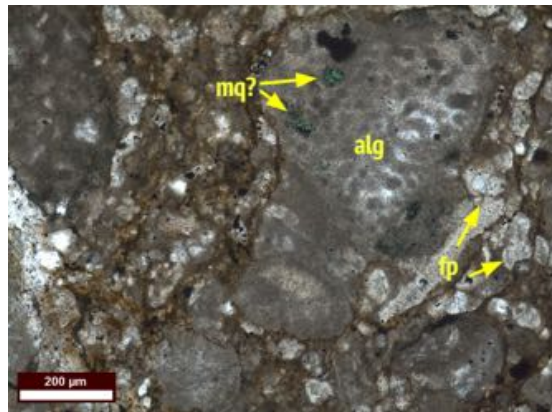


Figura 9.51: EX445118. PPL. Presencia de un mineral color verde esmeralda en la zona de aglutinación de aloquemas de la caliza. Podría tratarse de una posible malaquita (*mq*). Además, se observan algas (*alg*) y foraminíferos planctónicos (*fp*).

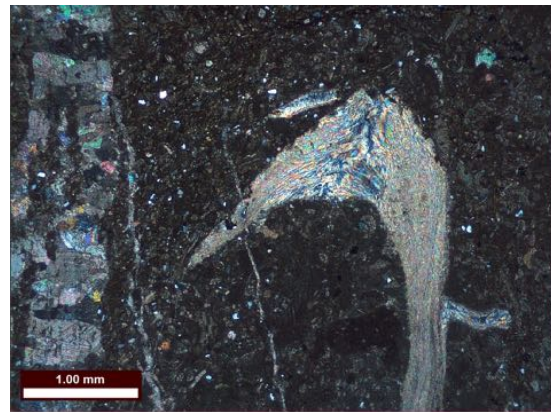


Figura 9.52: EX445117. XPL. Venilla de calcita de 0.75 mm (izquierda) y braquiópodo mostrando su hábito fibroso (derecha).

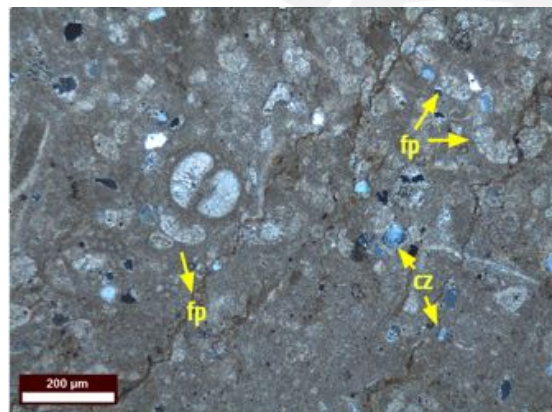


Figura 9.53: EX445117. XPL. Extraclastos de cuarzo (*cz*) en caliza packstone. Abundancia de foraminíferos planctónicos (*fp*) y presencia de algunos bioclastos indiferenciados.

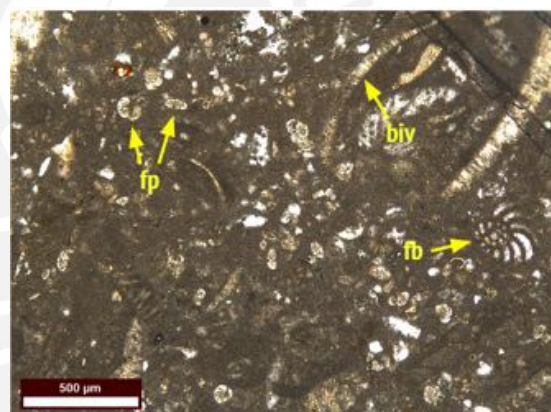
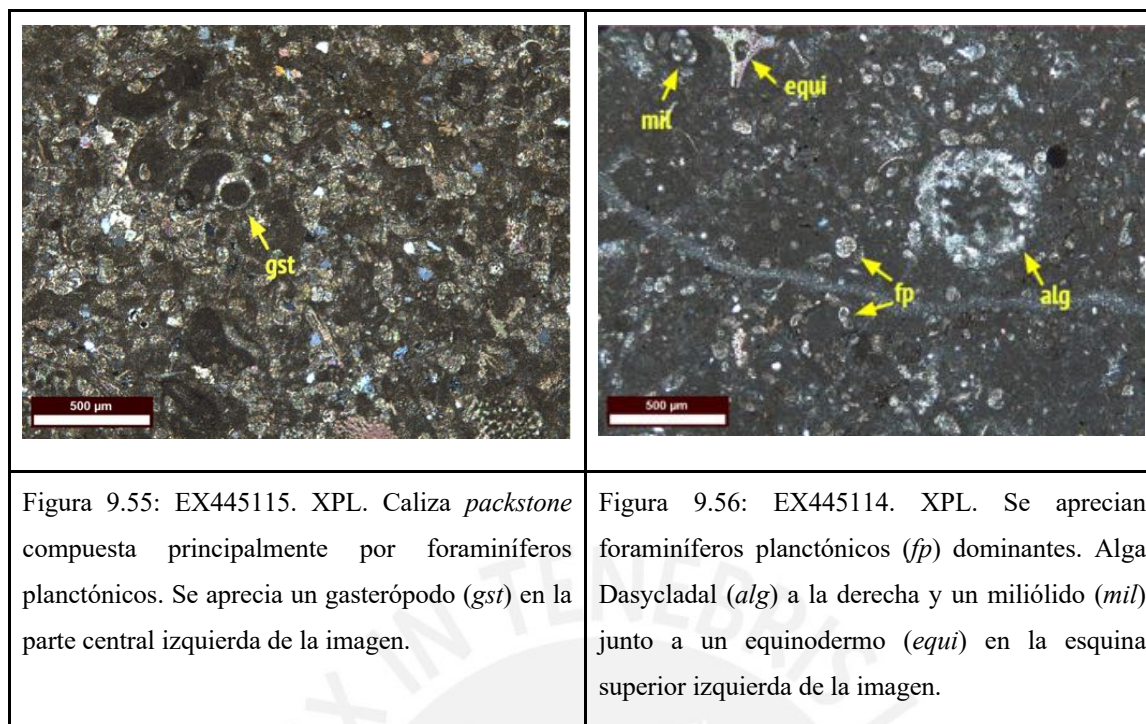


Figura 9.54: EX445116. PPL. Caliza *packstone* bioclástica compuesta mayoritariamente por foraminíferos planctónicos (*fp*) y bentónicos (*fb*) y algunos fragmentos de bivalvos (*biv*).



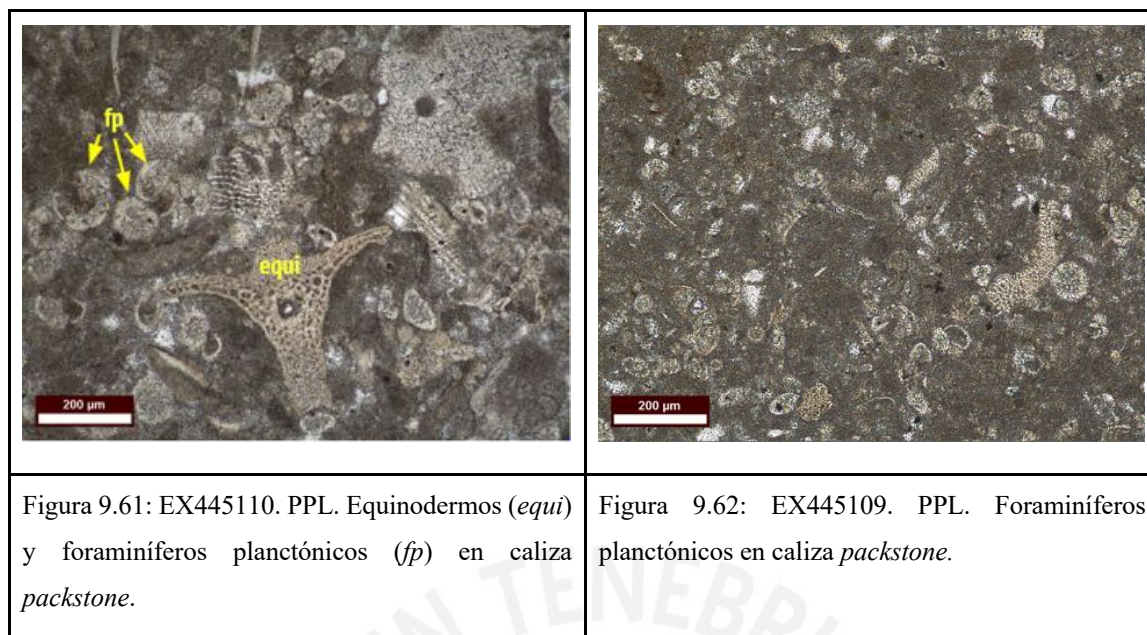
A continuación, en los 1.2 m siguientes continúan apareciendo calizas *packstone* con foraminíferos planctónicos y bentónicos con ocasionales algas. En dichas calizas también se identifican en menor proporción miliólidos, bivalvos, así como escasos equinodermos y braquiópodos. Los extraclastos de cuarzo alcanzan el 1% y hay presencia de chert y venillas de calcita (Figura 9.57).

A continuación, en el metro 224.90 se tienen 3 m de calizas *packstone* con foraminíferos planctónicos, miliólidos, equinodermos, escasos fragmentos de bivalvos, algas, braquiópodos intraclastos y escasos extraclastos de cuarzo (1%). El análisis de la muestra bajo el microscopio permite identificar chert reemplazando algunos aloquemias. Cristales de óxidos también fueron identificados en la lámina delgada (Figura 9.58). La roca se encuentra bioturbada (Figura 9.59).

En los siguientes 14.7 se tienen calizas *packstone* con foraminíferos planctónicos, equinodermos, braquiópodos, escasos briozoarios y ocasionales algas y fragmentos de bivalvos (Figuras 9.60 a 9.62). Algunos bioclastos se encuentran micritizados, sobre todo en el techo de la secuencia. Los extraclastos de cuarzo siguen siendo escasos (1%) y toda esta última

secuencia de rocas se encuentra ligeramente bioturbada.

<p>Figura 9.57: EX445113. PPL. Braquiópodo (<i>bra</i>) mostrando hábito fibroso. Los foraminíferos planctónicos predominan en la imagen. Presencia de algas (<i>alg</i>) y equinodermos (<i>equi</i>).</p>	<p>Figura 9.58: EX445112. XPL. Cristales de óxidos (<i>ox</i>). Se muestra también chert en la parte inferior de la imagen.</p>
<p>Figura 9.59: EX445112. XPL. Posible bioturbación en caliza <i>packstone</i>, donde el espacio cavado por los organismos es vuelto a ser llenado (izquierda). Presencia de equinodermos (<i>equi</i>) y posibles braquiópodos (<i>bra</i>).</p>	<p>Figura 9.60: EX445111. XPL. Colonia de briozoarios (<i>bri</i>).</p>



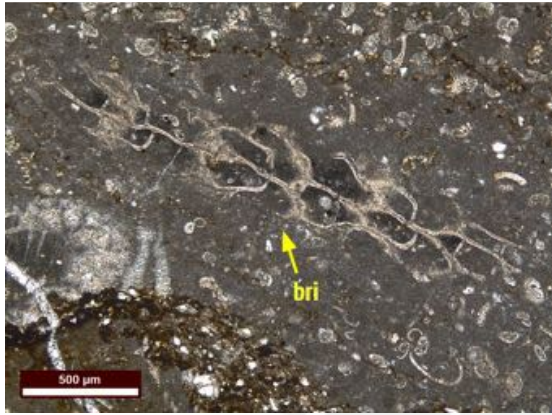
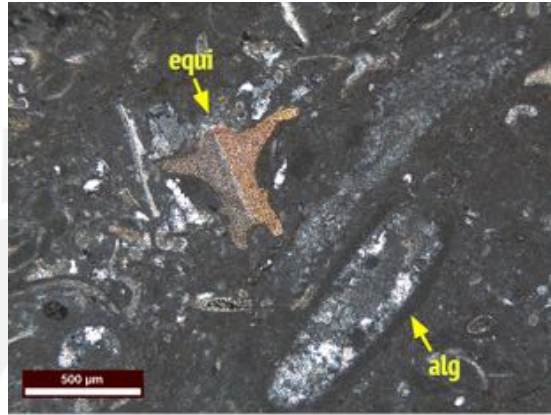


Un nivel de calizas *mudstone* a *wackestone* aparece desde los 242.60 m hasta los 251.70 m. A este nivel de calizas de grano fino le sigue un banco de 2.5 m de calizas *packstone* de fauna variada, incluyendo foraminíferos planctónicos y bentónicos, bivalvos, equinodermos, briozoarios y miliólidos (Figura 9.63). Algas y braquiópodos se encuentran ocasionalmente. Los bioclastos se encuentran en su mayoría micritizados, la mayor cantidad de ellos se encuentran en la base del banco. Los extraclastos de cuarzo son escasos (1%) y la roca presenta chert.

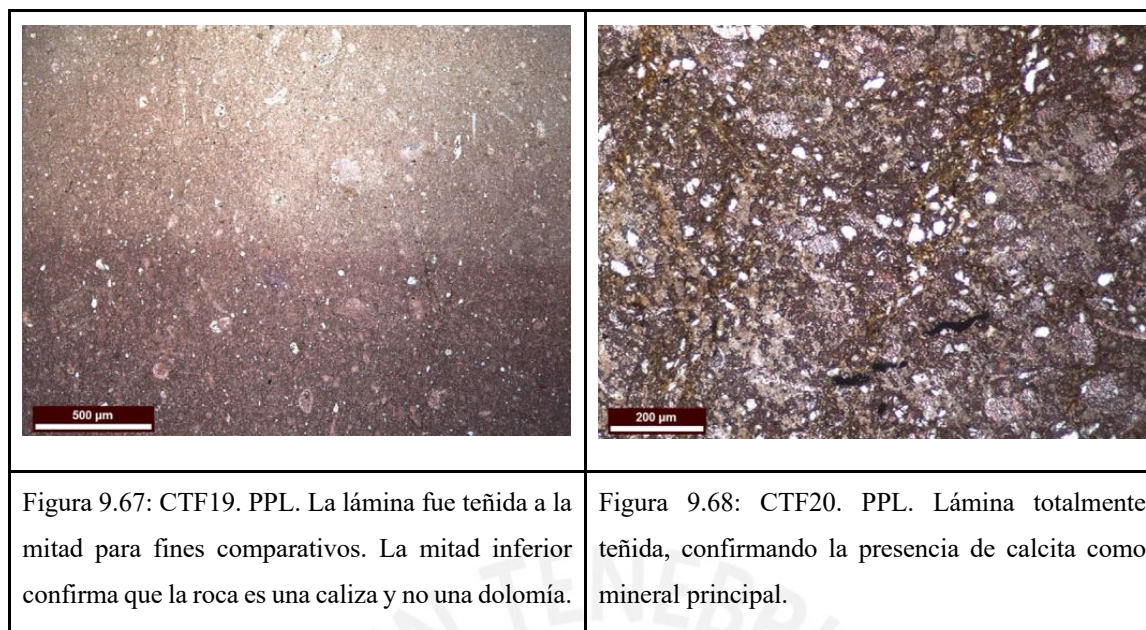
A continuación, se encuentra un nivel de 2 m de calizas *wackestone* seguido por 24.8 m de calizas *packstone* a *wackestone* con foraminíferos planctónicos y bentónicos, bivalvos, equinodermos, algas, ostrácodos y ocasionales braquiópodos (Figura 9.64). Los extraclastos de cuarzo alcanzan el 1%. Se encuentra una regular cantidad de intraclastos en la base. Las rocas de este nivel presentan bioturbación y micritización.

Del metro 281 al 284.40 se tienen calizas *wackestone* con escasos bioclastos como equinodermos, posibles bivalvos u ostrácodos, braquiópodos y foraminíferos bentónicos y planctónicos. La roca se encuentra bioturbada, presenta 3% de extraclastos de cuarzo, pirita diagenética y chert rellenando oquedades. La fábrica es en ocasiones desordenada de baja



clasificación, presentando sobre todo bioclastos fragmentados (Figuras 9.65 y 9.66). Estas rocas fueron sometidas a tinción con rojo de alizarina, mostrando que no contienen dolomita en su composición (Figuras 9.67 y 9.68). En los 6.5 m posteriores las rocas reducen su cantidad de aloquemas hasta pasar a ser calizas *mudstone* con muy escasos fragmentos de equinodermos. Se encuentran venillas de calcita, 1% de cuarzo y pirita framboidal.

 <p>A photomicrograph showing a complex, branching bryozoan colony (labeled 'bri') embedded in a dark matrix. A scale bar at the bottom left indicates 500 μm.</p>	 <p>A photomicrograph showing various bioclasts. A star-shaped equinoderm (labeled 'equi') and a filamentous alga (labeled 'alg') are prominent. A scale bar at the bottom left indicates 500 μm.</p>
<p>Figura 9.63: EX445108. PPL. Colonia de briozoarios (<i>bri</i>) en caliza <i>packstone</i>.</p>	<p>Figura 9.64: EX445107. XPL. Algas (<i>alg</i>), equinodermos (<i>equi</i>) y demás bioclastos indiferenciados en caliza <i>packstone</i> a <i>wackestone</i>. Equinodermo muestra macla característica.</p>
 <p>A photomicrograph showing a single, oval-shaped ostracod shell fragment (labeled 'o') in a dark matrix. A scale bar at the bottom left indicates 200 μm.</p>	 <p>A photomicrograph showing a wackestone matrix with various bioclasts. Labels include 'equi' for an equinoderm, 'bc' for bioclast fragments, and 'cz' for quartz clasts. A scale bar at the bottom left indicates 500 μm.</p>
<p>Figura 9.65: EX445105. PPL. Posible ostrácodo en caliza <i>wackestone</i>.</p>	<p>Figura 9.66: EX445104. XPL. Caliza <i>wackestone</i> con equinodermos (<i>equi</i>), fragmentos de bioclastos indiferenciados (<i>bc</i>) y extraclastos de cuarzo (<i>cz</i>).</p>


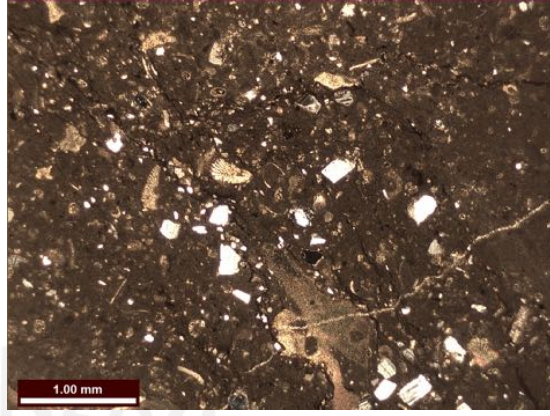

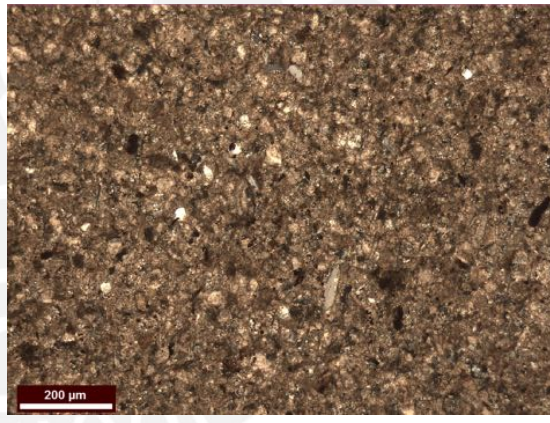


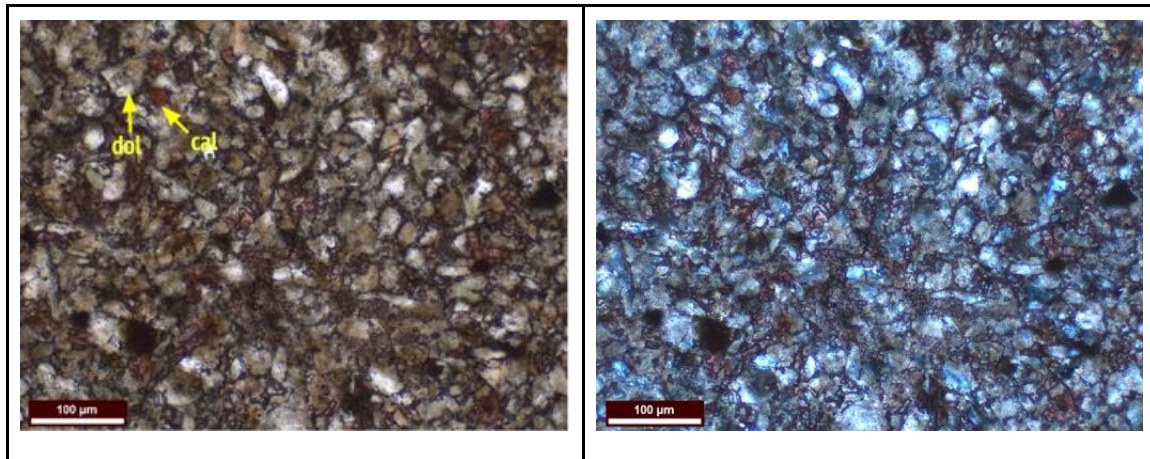
Un banco de calizas *wackestone a mudstone* bioturbadas aparece ocupando los siguientes 3.10 m, estas rocas contienen una escasa pero variada fauna (equinodermos, foraminíferos planctónicos, bivalvos y posibles braquiópodos), así como 2% de extraclastos angulosos y fragmentados de cuarzo y plagioclasa (Figuras 9.69 a 9.71). La roca tiene algunos aloquemias micritizados y presenta muy escaso chert rellenando oquedades. Además, los análisis por XRD determinaron la presencia de calcita, cuarzo, clinocloro, rutilo y arcillas del grupo de la illita.

Finalmente, desde el metro 294 al 297 (techo de la columna Chinche Superior), se identifican dolomías calcáreas *mudstone* con ausencia de aloquemias, siendo posible solo encontrar algunos relictos de bioclastos (Figura 9.72). La roca teñida con tinte rojo de alizarina presenta una escasa matriz calcárea (teñida en tonos rojos) y cristales de dolomita (no teñidos) (Figuras 9.73 y 9.74). La roca contiene de 1 a 5% de cuarzo y se encuentra intercalada en el campo con niveles margosos de 10 a 15 cm.

Cabe resaltar que, en algunas zonas, el contacto de la Formación Jumasha con la Formación Celendín se encuentra fallado, lo cual dificulta la estimación exacta de la potencia del miembro superior. A pesar de ello, establecer el inicio de la Formación Celendín, fue

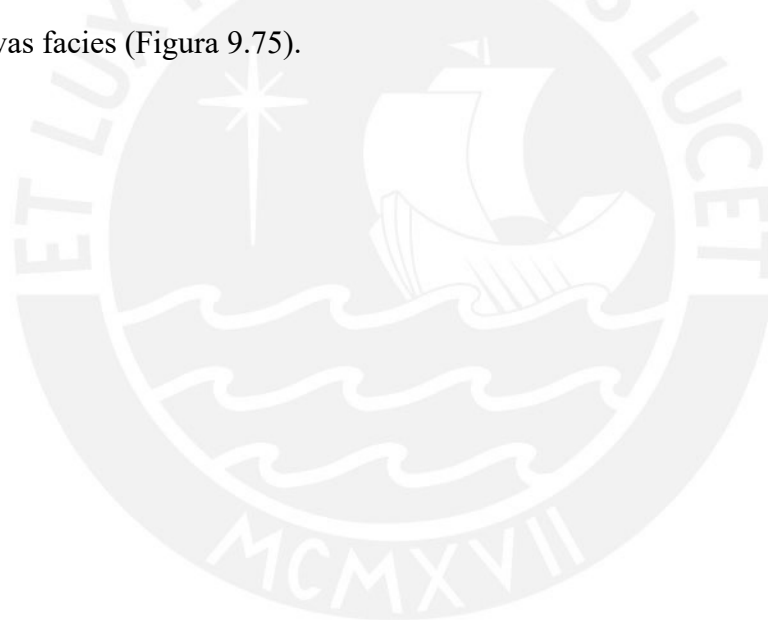
factible dado a que su litología se distinguía por ser visiblemente más margosa que las calizas de la Formación Jumasha.

	
<p>Figura 9.69: EX445103. XPL. Caliza <i>mudstone</i>. Algunos relictos de foraminíferos son distinguibles.</p>	<p>Figura 9.70: EX445102. PPL. Caliza <i>wackestone</i> con material detrítico.</p>
	
<p>Figura 9.71: EX445102. XPL. Cristales de cuarzo (<i>cz</i>) y plagioclasa (<i>plg</i>) angulosos y fragmentados en caliza <i>wackestone</i>.</p>	<p>Figura 9.72: EX445101. XPL. Dolomía calcárea <i>mudstone</i> con 3% de cuarzo. Lámina sin tinción.</p>



Figuras 9.73 y 9.74: CTF22. PPL y XPL. Dolomía calcárea, al ser tenida presenta una escasa matriz de calcita (*cal*) (teñida en rojo) y cristales de dolomita (*dol*) (no teñidos).

Finalmente, se presenta la columna de toda la Formación Jumasha en la zona de Chinche con sus respectivas facies (Figura 9.75).



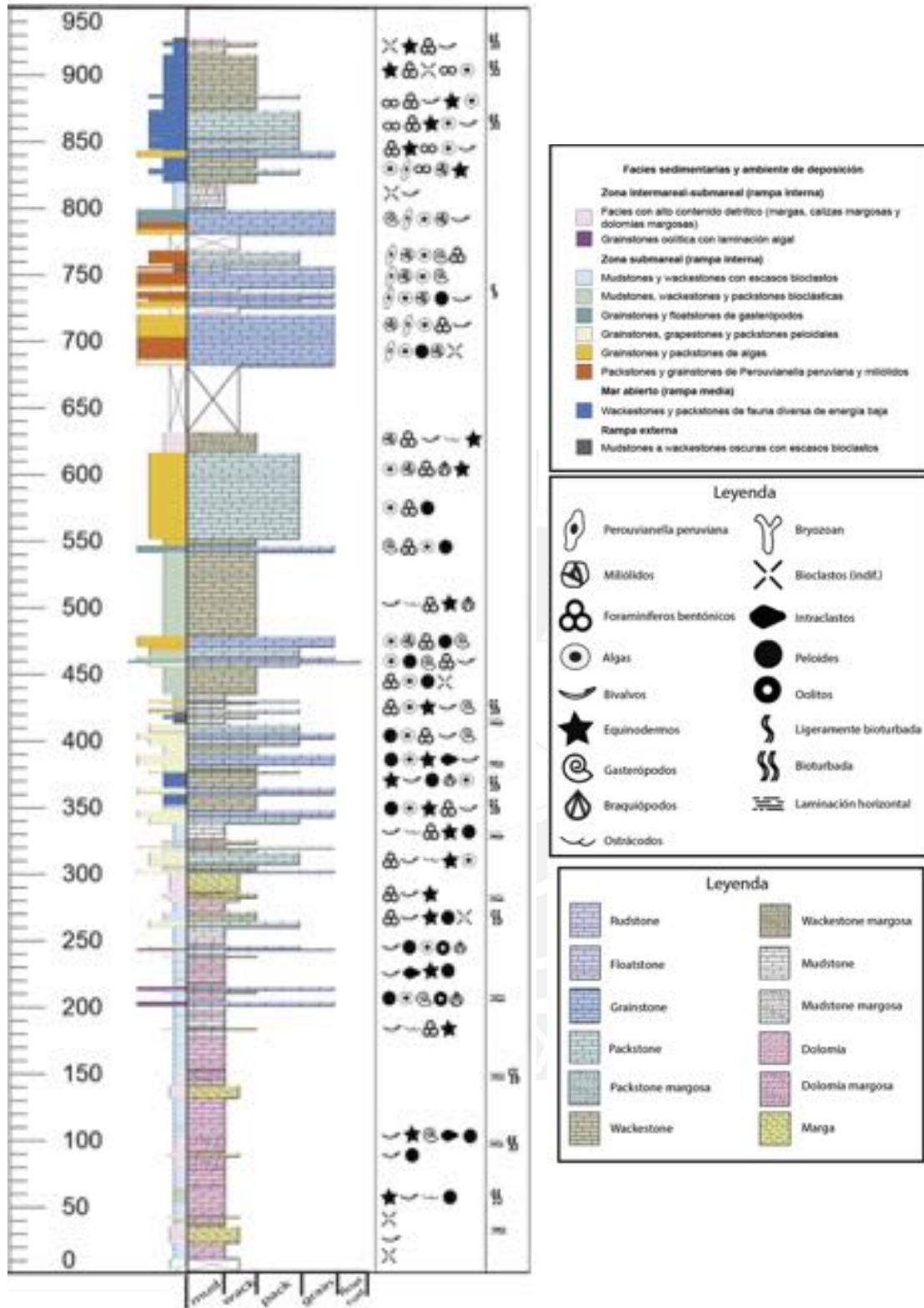


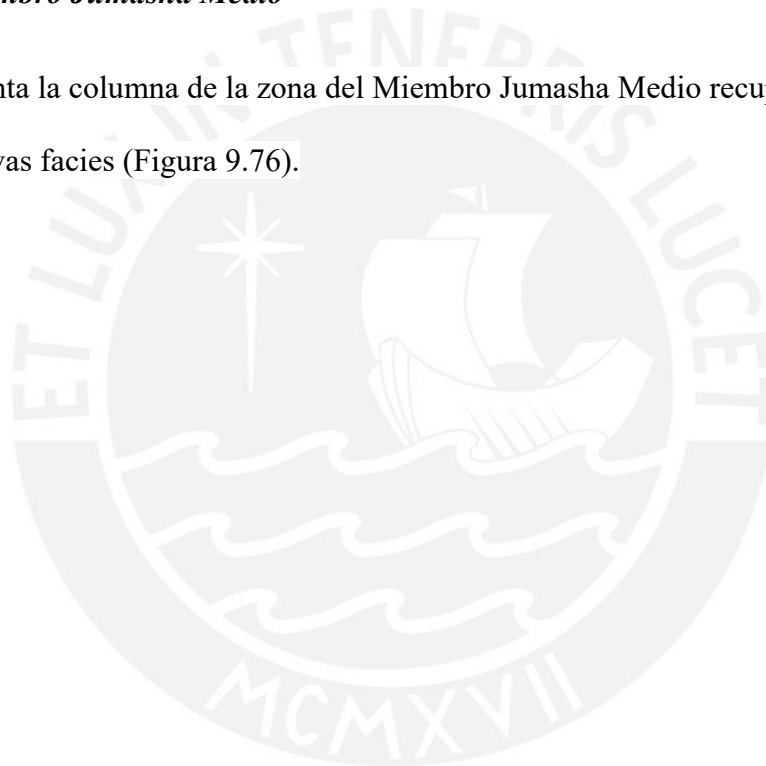
Figura 9.75: Columna estratigráfica y de facies de la Formación Jumash en la zona de Chinche.

## 9.2. Columna Yumpag

La columna digitalizada corresponde al taladro de logeo YUM-10-11 del Proyecto Yumpag de CIA de Minas Buenaventura, el cual abarca el miembro superior y parte del miembro medio de la Formación Jumasha, haciendo un total de 385.90 metros medidos desde la base o extremo inferior del taladro (nivel 0). Las potencias han sido obtenidas realizando las correcciones correspondientes con la información otorgada por la mina.

### 9.2.1. Miembro Jumasha Medio

Se presenta la columna de la zona del Miembro Jumasha Medio recuperada del taladro con sus respectivas facies (Figura 9.76).



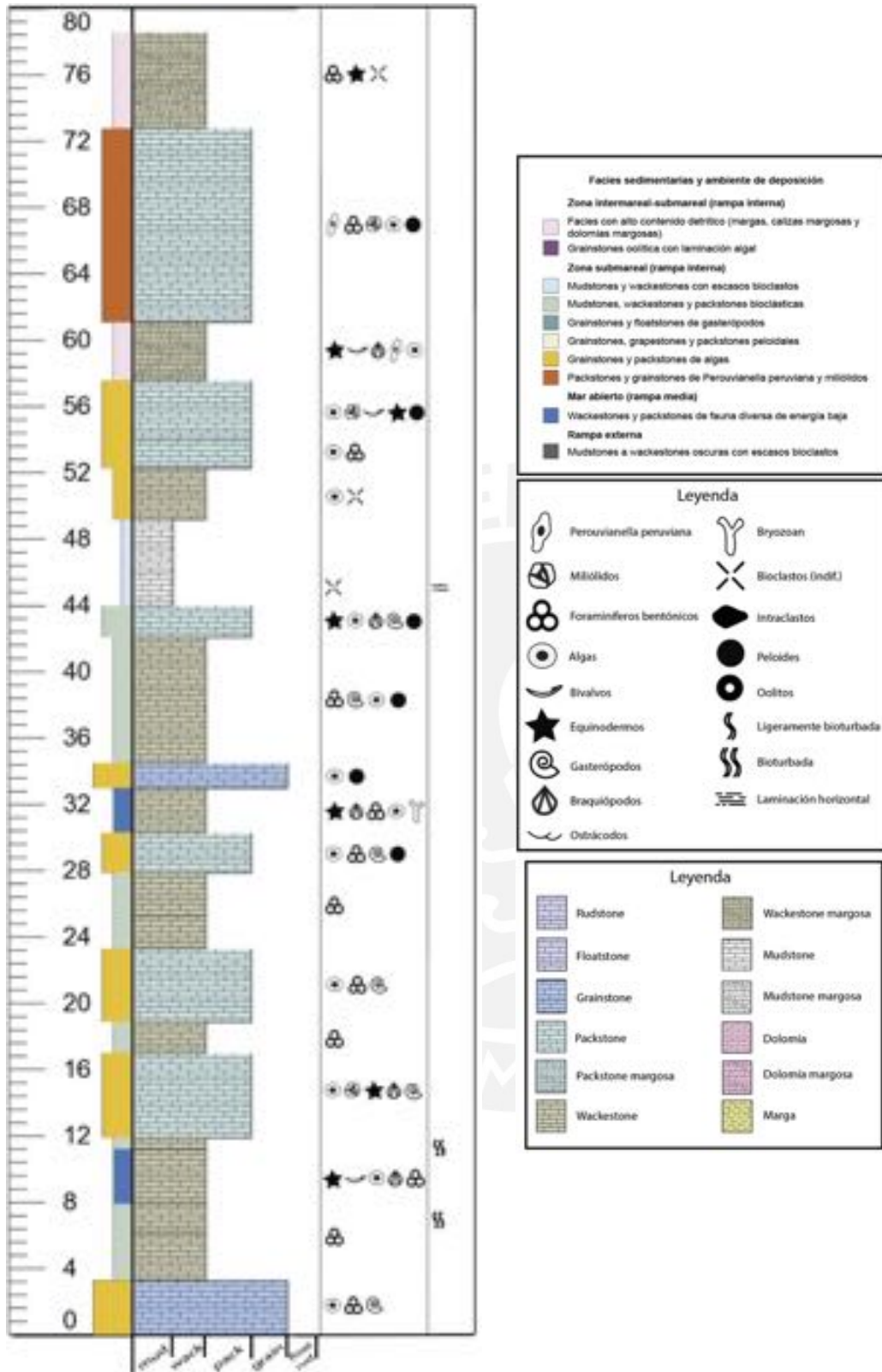
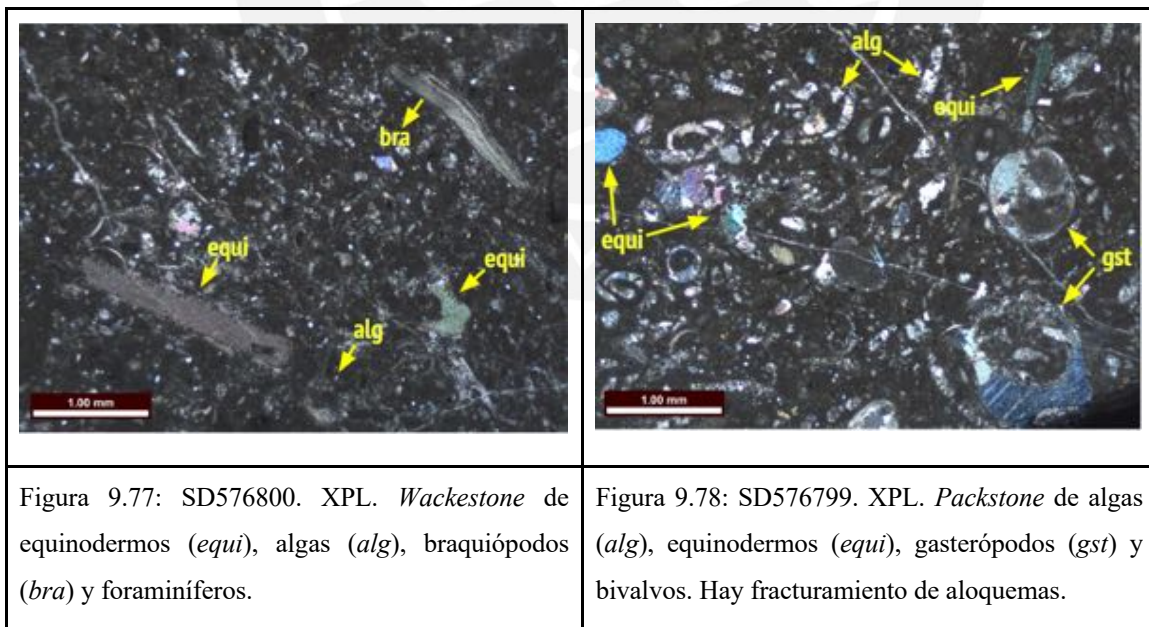


Figura 9.76: Columna estratigráfica y de facies del Miembro Jumasha Medio a partir del taladro YUM-10-11.

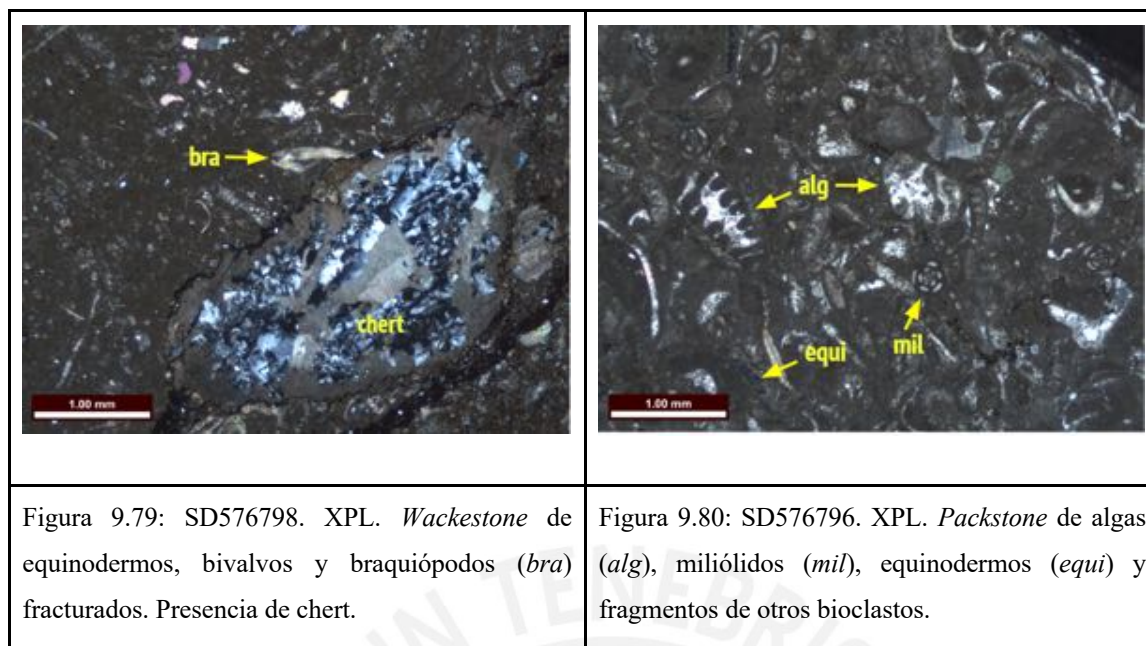
El registro se inicia aproximadamente en la zona media del Miembro Jumasha Medio con 3.30 m de *grainstone* de algas, foraminíferos y gasterópodos. Luego, se tienen 8.60 m de

*wackestone* con foraminíferos en la base y bioturbación, equinodermos, bivalvos, foraminíferos (miliólidos), algas en la parte media y hasta el techo (Figura 9.77). Después, se observa una intercalación de *wackestone* y *packstone* de 21.10 m. Los bancos de *packstone* presentan algas, foraminíferos, equinodermos, miliólidos, gasterópodos y peloides (Figura 9.78). Los de *wackestone* contienen foraminíferos y en el techo se observa también, bivalvos, equinodermos, braquiópodos, venillas de bitumen y chert (Figura 9.79).

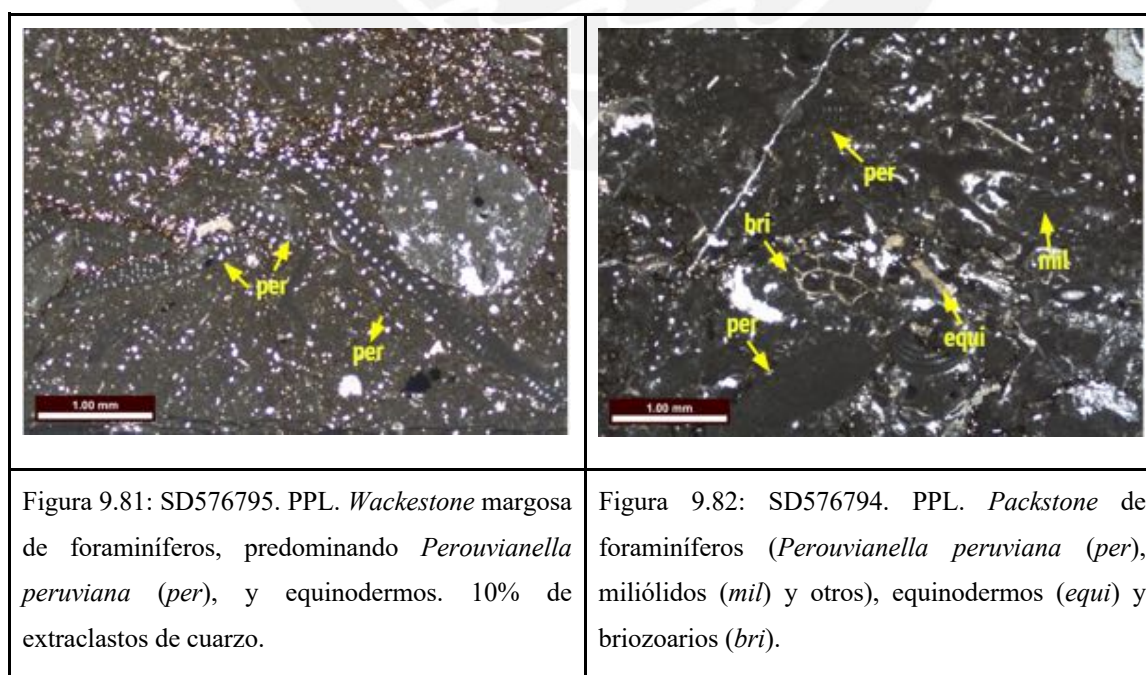
En el nivel 33, se observan 1.50 m de *grainstone* de algas y peloides, seguido de 7.60 m de *wackestone* de foraminíferos, algas, gasterópodos y peloides. A continuación, se observan 1.90 m de *packstone* con equinodermos, peloides, algas, gasterópodos, foraminíferos, venillas de bitumen y hasta 3% de cuarzo detrítico; seguido de 5.20 m de *mudstone*, laminar en la base y con peloides en el techo. Después, aparecen 3.10 m de *wackestone* de gasterópodos y 5.30 m de *packstone* con algas, foraminíferos (miliólidos), equinodermos y venillas de calcita (Figura 9.80).







Finalmente, se presenta una secuencia margosa de 21 m de *packstone* en el medio y *wackestone* margosa en la base y techo (Figuras 9.81 a 9.83). Los bancos de *wackestone* presentan venillas de calcita y bitumen. En la base presenta equinodermos, bivalvos, braquiópodos y *Perouvianella peruviana*. En el techo presenta bivalvos, otros foraminíferos y equinodermos. El banco de *packstone* se encuentra micritizado y contiene *Perouvianella peruviana*, miliólidos, otros foraminíferos, algas, equinodermos y venillas de bitumen.



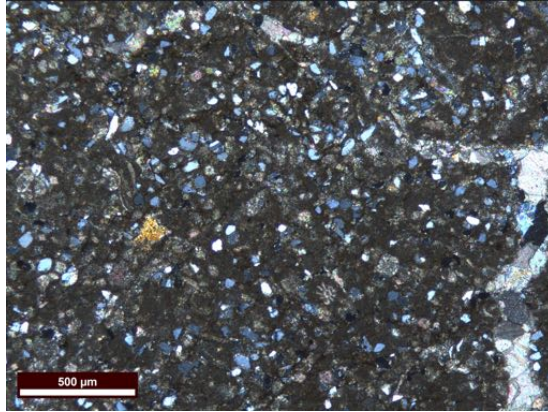


Figura 9.83: SD576793. XPL. *Wackestone* margosa de equinodermos, bivalvos y foraminíferos. 25% de extraclastos subredondeados de cuarzo detrítico de entre 25 a 40 micrones.

### 9.2.2. *Miembro Jumasha Superior*

Se presenta la columna del Miembro Jumasha Superior del taladro con sus respectivas facies (Figura 9.84).

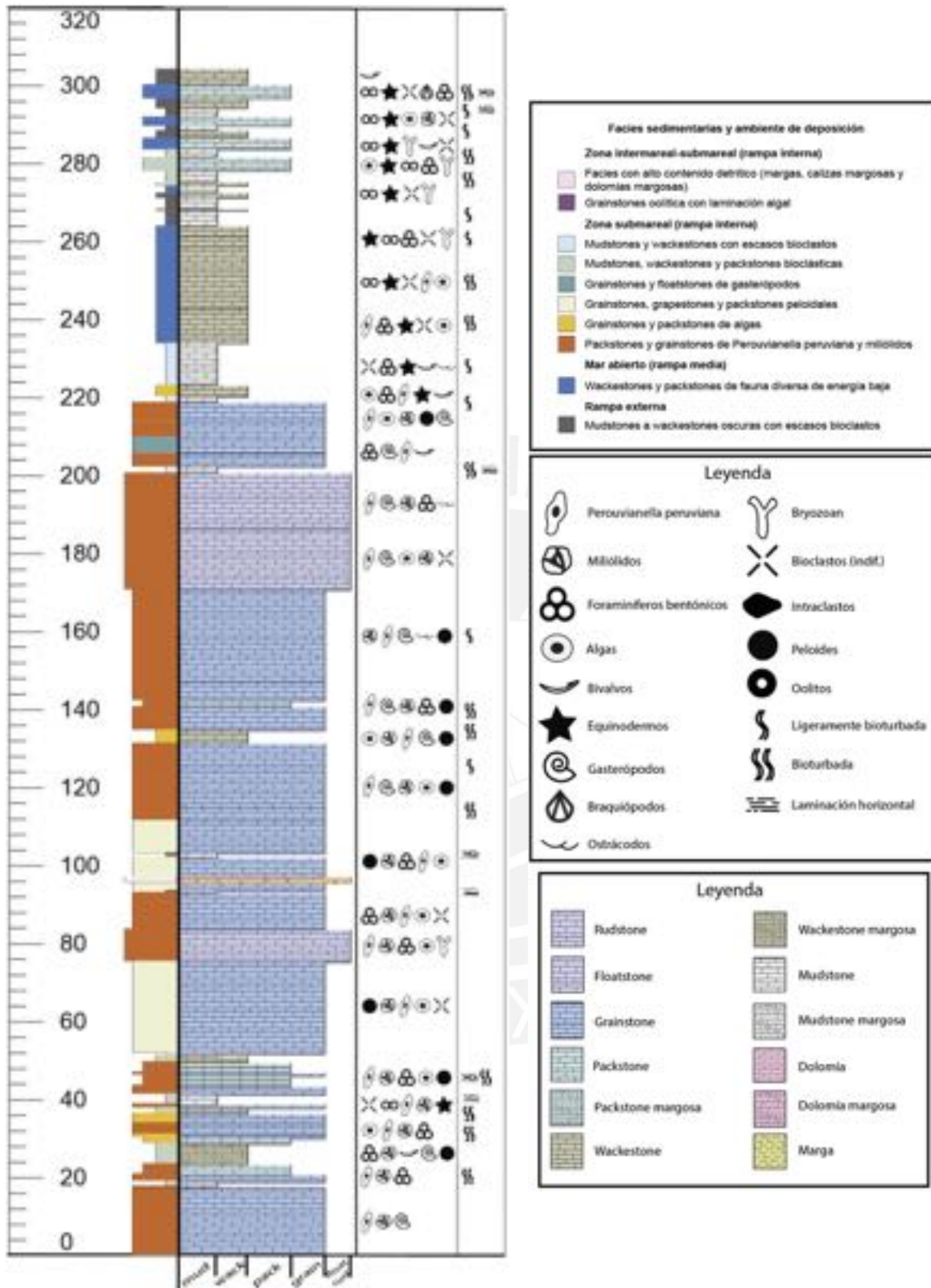


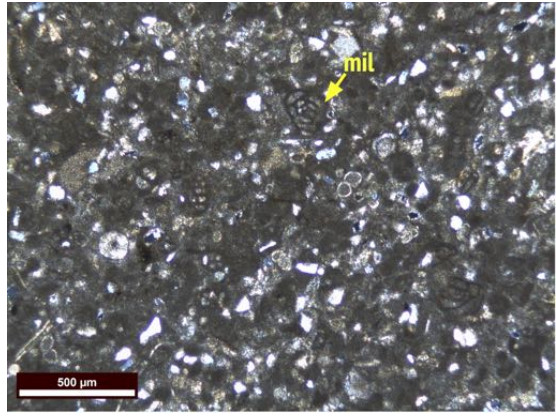
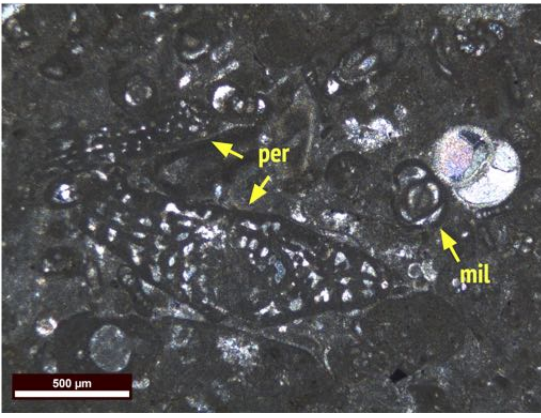
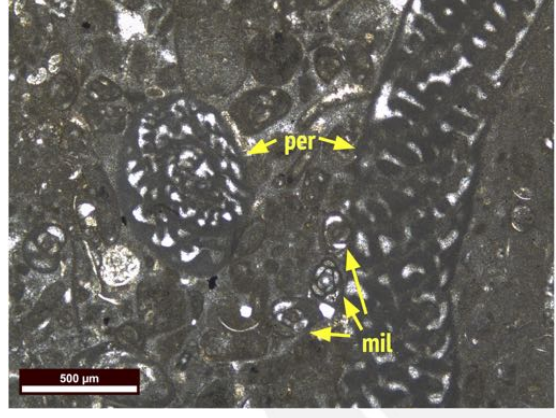

Figura 9.84: Columna estratigráfica y de facies del Miembro Jumasha Superior a partir del taladro YUM-10-11.

En la base de la columna se observa una secuencia de 17.60 m de *grainstone* de *Peruvianella peruviana*, miliólidos y gasterópodos. Posteriormente, se observan 1.30 m de

*mudstone* bioturbada con algunos foraminíferos, 1.90 m de *grainstone* de *Perouvianella peruviana* y miliólidos y 2.60 m de *packstone* ligeramente bioturbada con *Perouvianella peruviana*. Luego, aparecen 5.30 m de *wackestone* margosa micritizada con foraminíferos, miliólidos, bivalvos, gasterópodos, peloides, venillas de bitumen y 10% de cuarzo detrítico. Después, se observan 1.40 m de *packstone* bioturbada de algas y foraminíferos y 6.30 m de *grainstone* bioturbada, de algas, *Perouvianella peruviana* y miliólidos en la base y techo, y de *Perouvianella peruviana* y otros foraminíferos en el medio.

En el nivel 36.40, se observan 1.40 m de *wackestone* micritizada y bioturbada con foraminíferos (miliólidos), peloides, bivalvos, equinodermos, venillas de bitumen, hasta 8% de cuarzo detrítico y hasta 1% de minerales opacos (Figura 9.85). Luego, aparecen 1 m de *grainstone* de miliólidos y otros foraminíferos, 2.50 m de *mudstone* laminar de bivalvos y 2.20 m de *grainstone* de *Perouvianella peruviana* y miliólidos. Después, se observa un banco de *packstone* de 2.70 m, el cual se encuentra micritizado, ligeramente bioturbado y presenta miliólidos, *Perouvianella peruviana*, otros foraminíferos, bivalvos, peloides, 0.5% de cuarzo detrítico y 1% de minerales opacos (Figura 9.86).

Hacia el techo, se tienen 0.70 m de *grainstone* de foraminíferos (miliólidos); luego, se observa una secuencia de 2.70 m de *packstone* y *wackestone* (Figuras 9.87 y 9.88) cuya base se encuentra bioturbada y contiene foraminíferos y algas. En el medio, dicha secuencia está micritizada y presenta miliólidos, *Perouvianella peruviana*, otros foraminíferos, algas, bivalvos, peloides, 0.5% de cuarzo detrítico y 1% de minerales opacos. A dicha secuencia se le superponen 1.70 m de *wackestone* y se encuentran micritizadas, en ellas se observan *Perouvianella peruviana*, miliólidos, equinodermos, bivalvos, 1% de cuarzo detrítico y 1% de minerales opacos. Luego, aparece un banco de 0.50 m de *mudstone*.

	
<p>Figura 9.85: SD576791. XPL. <i>Wackestone</i> ligeramente margosa con foraminíferos (miliólidos (<i>mil</i>) y otros). 8% de extraclastos de cuarzo detrítico.</p>	<p>Figura 9.86: SD576790. XPL. <i>Packstone</i> de foraminíferos, entre los que se encuentran <i>Perovianella peruviana</i> (<i>per</i>), miliólidos (<i>mil</i>) y otros.</p>
	
<p>Figura 9.87: SD576789. PPL. <i>Packstone</i> de foraminíferos (<i>Perovianella peruviana</i> (<i>per</i>), miliólidos (<i>mil</i>) y otros) y algas.</p>	<p>Figura 9.88: SD576788. PPL. <i>Packstone</i> de foraminíferos (<i>Perovianella peruviana</i> y miliólidos), equinodermos y bivalvos. Algunos se encuentran fracturados.</p>

Al estrato de 0.5 m de calizas *mudstone* se le sobreponen 23.50 m de calizas *grainstone* de peloides y miliólidos. En menor proporción se encuentran *Perovianella peruviana*, algas y escasos fragmentos de bivalvos. El cemento espáritico es predominante, a pesar que localmente en la muestra se puede encontrar también micrita (Figura 9.89). Este nivel se encuentra bioturbado por partes.

Desde el metro 75.30 a 83.70 se tienen calizas *floatstone* con *Perouvianella peruviana* y miliólidos. Se encuentran también otros foraminíferos, ocasionales algas, briozoarios, escasos ostrácodos y fragmentos de bivalvos (Figura 9.90). Se encuentra micritizada y no presenta mayor contenido detrítico (0.5%), a pesar que en el campo se consideró como caliza margosa.

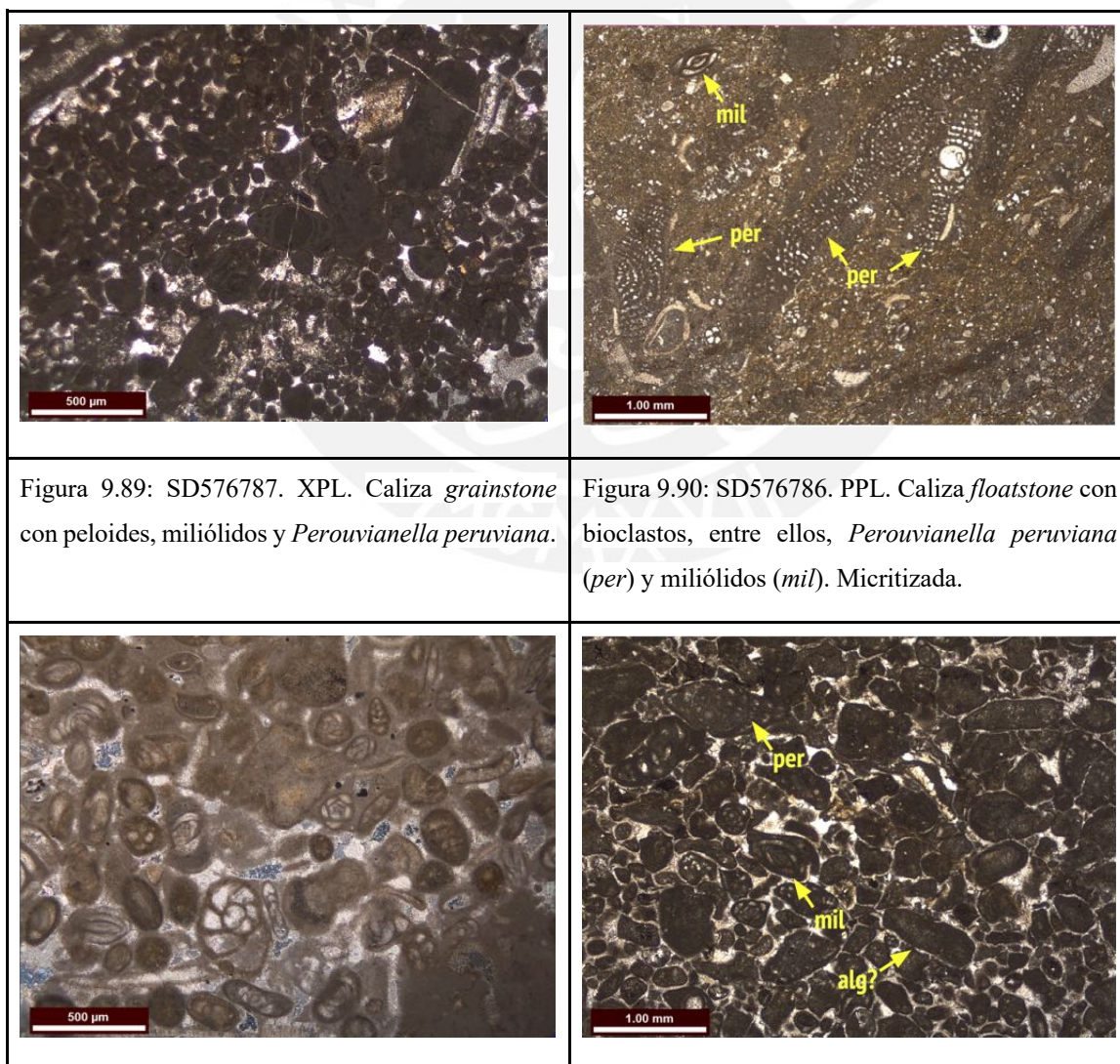
En los siguientes 9.40 m se tienen calizas *grainstone* de foraminíferos y miliólidos. Microscópicamente se encuentran ocasionalmente algas y *Perouvianella peruviana*, así como escasos fragmentos de bivalvos. Gran parte de los bioclastos se encuentran micritizados, tomando la apariencia de peloides (Figura 9.91). A estas calizas *grainstone* les sigue un banco de 0.50 m de caliza *mudstone* oscuras laminares.

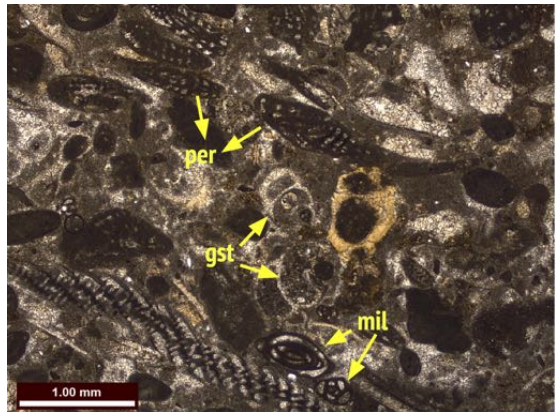
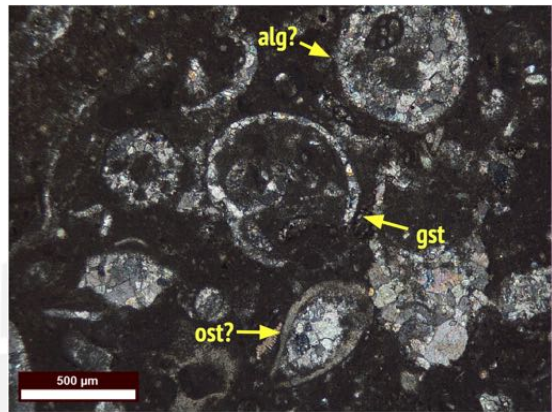
A continuación, entre los metros 93.60 y 115.50 m se tienen calizas *grainstone* con peloides y miliólidos principalmente. Entre los demás aloquemas se encuentran otros foraminíferos, *Perouvianella peruviana* y ocasionales algas (Figura 9.92). En medio de dicho banco, se identificó un banco de 1 m de potencia de calizas *mudstone* oscuras con laminación planar. Cerca a la base del banco, estas calizas son atravesadas por un dique de diorita de 1.50 m.

Los siguientes 3.5 m se componen de calizas *grainstone* bioclásticas con una menor cantidad de aloquemas que las anteriores *grainstones*, con niveles centimétricos de *packstones*. Los miliólidos aparecen agrupados por sectores con algas, gasterópodos y *Perouvianella peruviana*. Microscópicamente también se encuentran ocasionales ostrácodos y fragmentos de bivalvos. Algunos de los aloquemas están reemplazados por esparita y otros han sido micritizados perdiendo sus rasgos característicos y tomando la apariencia de peloides (Figura 9.93). Macroscópicamente estas calizas se encuentran bioturbadas.

Del metro 115.00 al 131.40, aparecen calizas *grainstone*, donde la *Perouvianella peruviana* se vuelve el bioclasto dominante junto a los gasterópodos. Macroscópicamente se identificó como bioturbada en ocasiones.

A continuación, se tienen 3.40 m de caliza *grainstone* de algas, miliólidos y *Perouvianella peruviana*, como bioclastos principales. Aparecen también gasterópodos y ocasionalmente peloides, ostrácodos, fragmentos de bivalvos y 0.5% de cuarzo. El cemento es predominantemente esparítico pero es posible encontrar localmente matriz micrítica. Algunos aloquemas han sido reemplazados por esparita, mientras que otros se encuentran en parte micritizados y toman una forma de peloides (Figura 9.94). La roca se encuentra bioturbada.



<p>Figura 9.91: SD576785. XPL. Foraminíferos diversos en matriz esparítica. Entre ellos se distinguen abundantes miliólidos. La roca se identifica como una <i>grainstone</i> bioclástica.</p>	<p>Figura 9.92: SD576784. PPL. Caliza <i>grainstone</i> con peloides y miliólidos (<i>mil</i>) principalmente, <i>Perouvianella peruviana</i> (<i>per</i>) y ocasionales algas (<i>alg</i>). Algunos bioclastos han perdido su estructura por la micritización.</p>
	
<p>Figura 9.93: SD576783. PPL. Caliza <i>packstone</i> con bioclastos, entre ellos, <i>Perouvianella peruviana</i> (<i>per</i>), miliólidos (<i>mil</i>), gasterópodos (<i>gst</i>) y ocasionales algas. Muestra predominancia de cemento esparítico sobre matriz micrítica.</p>	<p>Figura 9.94: SD576782. XPL. Gasterópodo (<i>gst</i>), algas (<i>alg</i>) y posibles ostrácodos (<i>ost</i>) en matriz micrítica.</p>

En el metro 134.80, se tienen 6 m de calizas *grainstone* de *Perouvianella peruviana*, gasterópodos y miliólidos como bioclastos principales. Los aloquemias se encuentran en parte micritizados tomando forma de peloides en ocasiones. La roca se encuentra bioturbada. Posteriormente, se tiene un nivel de 1.60 m de caliza *packstone* bioturbada con *Perouvianella peruviana* y otros foraminíferos como bioclastos predominantes. A este nivel le sigue uno de 4.90 m de *grainstone* de *Perouvianella peruviana* y miliólidos muy similar a las *grainstones* anteriores

En el metro 147.30, se tienen 23.50 m de bancos de calizas *grainstone a packstone* de miliólidos y *Perouvianella peruviana*. Aparecen también gasterópodos, ostrácodos, escasas algas, briozoarios, bivalvos, equinodermos y peloides (Figura 9.95). La roca en campo se identificó como ligeramente bioturbada.



Los siguientes 15.50 m corresponden a calizas *floatstone* de *Perouvianella peruviana* y gasterópodos. El cemento es micrítico y aloquemas como algas, miliólidos, bivalvos y ostrácodos son menos frecuentes. Algunos aloquemas están micritizados y se puede observar que la *Perouvianella peruviana* se encuentra fragmentada (Figura 9.96).

En las calizas de los posteriores 14.5 m, se conserva la matriz micrítica, pero aumentan en gran cantidad los aloquemas, pasando a tener calizas *rudstone* de *Perouvianella peruviana* y gasterópodos con ocasionales miliólidos y demás foraminíferos bentónicos (Figura 9.97). Algunos aloquemas se encuentran totalmente micritizados. Inmediatamente después, aparece un banco de 1.60 m de caliza *mudstone* laminar y bioturbada.

En los 3.3 m siguientes se tienen calizas *grainstone* de *Perouvianella peruviana* con ocasionales bivalvos, a las cuales les sigue un nivel de 4.40 m de *grainstone* donde resaltan gasterópodos de distintos tamaños y bivalvos.

A continuación, en los siguientes 3.90 m se encuentran calizas *grainstone* con miliólidos y *Perouvianella peruviana* como bioclastos principales. Otros bioclastos, como foraminíferos y algas, también son identificados microscópicamente, así como escasos braquiópodos y ostrácodos (Figura 9.98). Algunos miliólidos se encuentran micritizados tomando la apariencia de peloides.

En los 4.90 m siguientes, se tienen calizas *grainstone* de *Perouvianella peruviana*, algas y peloides (Figuras 9.99 a 9.101). Miliólidos, otros foraminíferos bentónicos y gasterópodos también aparecen asociados. En las rocas correspondientes a las secciones SD576778 y SD576777 el cemento es predominantemente esparítico, pero es posible tener micrita localmente. En particular, el tamaño de los cristales de calcita de la Figura 9.101 permite interpretar una recristalización por lo menos parcial de la roca.

A las calizas *grainstone* les sigue un nivel de 1.50 m de *mudstone* ligeramente bioturbada con muy escasos bioclastos como foraminíferos, equinodermos, bivalvos y ostrácodos. Los 2.90 m siguientes son calizas *wackestone* de foraminíferos bentónicos, algas y *Perouvianella peruviana*. Esta secuencia es seguida de 10.80 m de calizas *mudstone a wackestone* con muy escasos bioclastos de foraminíferos, equinodermos y ostrácodos (Figura 9.102). Todos estos niveles se encuentran ligeramente bioturbados.

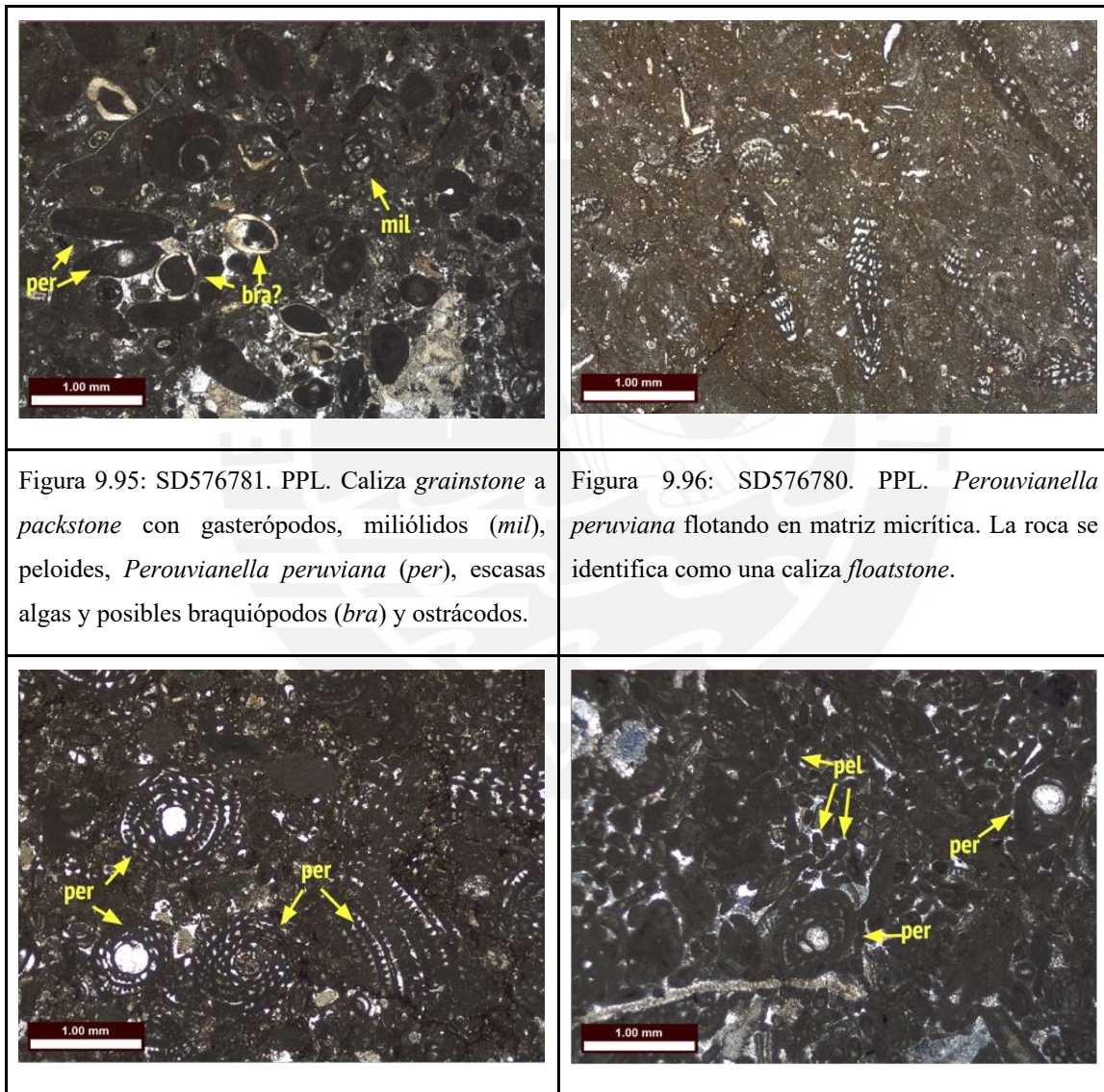


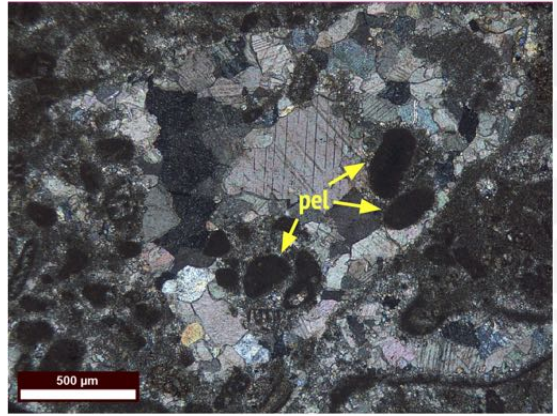
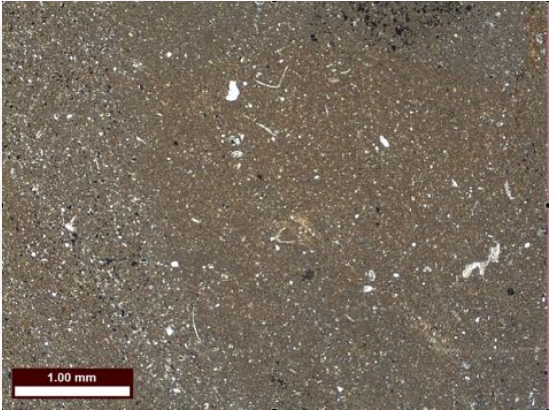


Figura 9.95: SD576781. PPL. Caliza *grainstone* a *packstone* con gasterópodos, miliólidos (*mil*), peloides, *Perouvianella peruviana* (*per*), escasas algas y posibles braquiópodos (*bra*) y ostrácodos.

Figura 9.96: SD576780. PPL. *Perouvianella peruviana* flotando en matriz micrítica. La roca se identifica como una caliza *floatstone*.

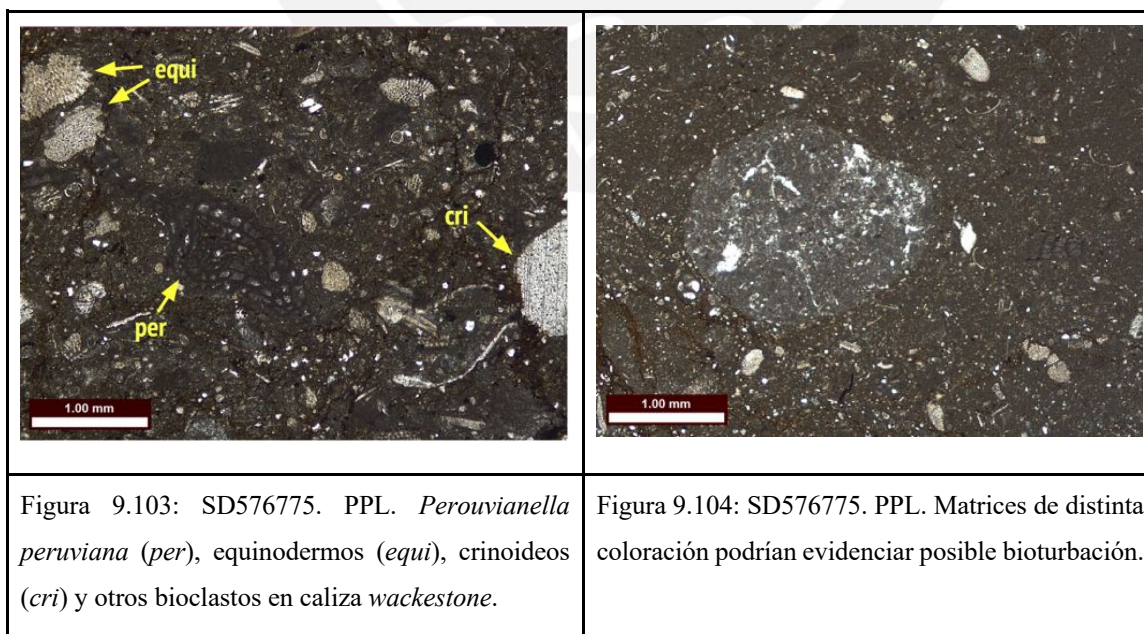
<p>Figura 9.97: SD576779. PPL. Caliza <i>rudstone</i> con bioclastos, predominantemente <i>Perouvianella peruviana</i> (<i>per</i>). Algunos aloquemias se encuentran totalmente micritizados.</p>	<p>Figura 9.98: SD576778. XPL. Caliza <i>grainstone</i> con predominancia de miliólidos y <i>Perouvianella peruviana</i> (<i>per</i>). Los miliólidos se encuentran micritizados tomando la apariencia de peloides (<i>pel</i>).</p>
	
<p>Figura 9.99: SD576777. PPL. Gasterópodo de 2.5mm.</p>	<p>Figura 9.100: SD576777. PPL. Caliza <i>grainstone</i> con bioclastos como <i>Perouvianella peruviana</i>, algas. Se distinguen también peloides en la muestra.</p>
	
<p>Figura 9.101: SD576777. XPL. Peloides (<i>pel</i>) en calizas <i>grainstone</i>. Cemento esparítico. Posible recristalización parcial de la roca por el tamaño de los cristales.</p>	<p>Figura 9.102: SD576776. PPL. Caliza <i>mudstone</i> sin bioclastos identificables.</p>

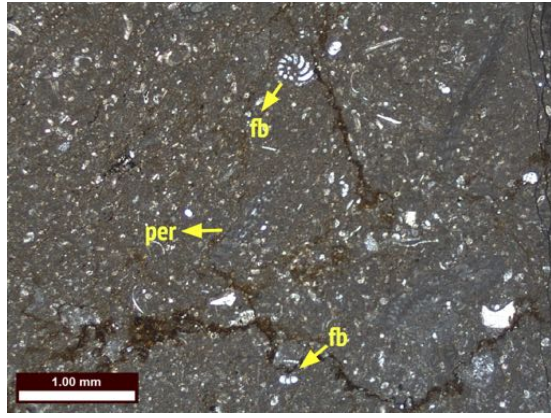
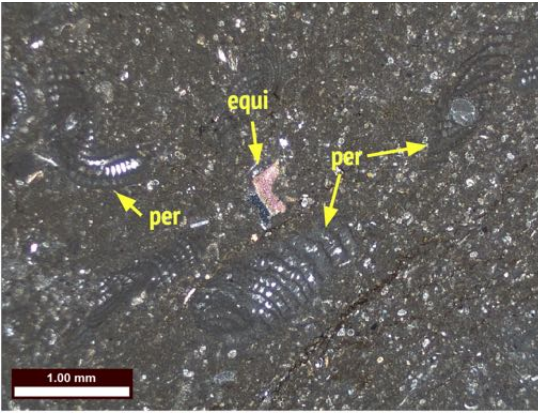
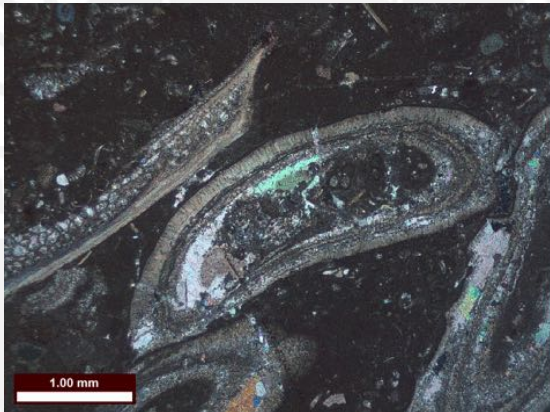
Entre los metros 234.10 y 242.90 aparecen calizas *wackestone* bioclásticas. Entre los bioclastos se identifican *Perouvianella peruviana*, equinodermos, algas, fragmentos de ostrácodos o bivalvos y braquiópodos fragmentados (Figura 9.103). La roca se encuentra bioturbada y contiene 1% de cuarzo detrítico (Figura 9.104).

Los 15.90 m siguientes se componen de calizas *wackestone a mudstone* de foraminíferos predominantemente planctónicos, equinodermos, fragmentos indiferenciados y escasa *Perouvianella peruviana*. Aparecen también muy escasas algas, equinodermos, ostrácodos y bivalvos, se observan estiliolitos (Figura 9.105). La roca se encuentra ligeramente bioturbada en la base y mantiene el 1% de cuarzo detrítico del nivel anterior.

Entre los metros 258.80 y 264.20 se tienen calizas *wackestone* con foraminíferos planctónicos, equinodermos, bivalvos, *Perouvianella peruviana* y briozoarios. (Figura 9.106). Algunos aloquemas se encuentran micritizados. Se tiene 0.5% de cuarzo detrítico. La roca está ligeramente bioturbada y se encuentra más micritizada en el techo del banco (Figura 9.107).

La secuencia anterior se ve interrumpida por una alternancia entre calizas *mudstone a wackestone* con foraminíferos planctónicos que abarcan los siguientes 8.40 m (Figura 6.12). Luego, se tienen 1.90 m de *mudstone* con escasos foraminíferos planctónicos, equinodermos, bivalvos, ostrácodos y briozoarios y pirita cúbica. A estas calizas se les sobrepone nuevamente 3.80 m de calizas *mudstone a wackestone* de fauna variada.



	
<p>Figura 9.105: SD576774. XPL. Caliza <i>wackestone</i> a <i>mudstone</i> con foraminíferos planctónicos, bentónicos (<i>fb</i>) y algunos relictos de <i>Perouvianella peruviana</i> (<i>per</i>) micritizada en el centro. Se observan estilolitos.</p>	<p>Figura 9.106: SD576773. XPL. Caliza <i>wackestone</i> con bioclastos, entre ellos, <i>Perouvianella peruviana</i> (<i>per</i>), foraminíferos planctónicos y fragmentos de equinodermos (<i>equi</i>).</p>
	
<p>Figura 9.107: SD576772. XPL. Posibles bivalvos en corte transversal.</p>	

Entre los metros 278.30 y 281.80, las calizas son *packstone* con algas, fragmentos de equinodermos, foraminíferos planctónicos y bentónicos, ocasionales briozoarios, fragmentos de bivalvos u ostrácodos y braquiópodos. Algunos aloquemas están totalmente micritizados. La roca contiene un 0.5% de cuarzo detrítico (Figura 9.108). Posteriormente, aparecen nuevamente calizas *mudstone* bioturbadas, en un banco de 2 m con venillas gruesas de calcita.

Luego, se tiene un banco de calizas *packstone* de 3 m donde, entre los bioclastos más importantes, se encuentran foraminíferos planctónicos y equinodermos. Se encuentran también

miliólidos y otros foraminíferos bentónicos, briozoarios, fragmentos de bivalvos, ostrácodos, escasos braquiópodos y ocasionales algas (Figuras 9.109 y 9.110). La fábrica es caótica y se puede ver que localmente la muestra se encuentra brechada (Figura 9.111). La roca contiene 1% de cuarzo detrítico y se encuentra ligeramente bioturbada.

A continuación, la cantidad de aloquemas de la roca disminuye notablemente, pasando en los siguientes 1.90 m a ser una caliza *wackestone* con escasos bioclastos y bioturbada, seguidas por 1.20 m de caliza *mudstone* ligeramente bioturbada con escasos fragmentos de bivalvos.

En los siguientes 2.30 m, se encuentran calizas *packstone* de foraminíferos planctónicos, equinodermos y algas. Miliólidos, briozoarios, bivalvos y 0.5% de cuarzo también aparecen en la sección delgada de la muestra, así como escasos ostrácodos, braquiópodos y otros foraminíferos bentónicos (Figura 9.112 y 9.113). Algunos aloquemas se encuentran totalmente micritizados. Hacia el techo, dicho banco reduce la cantidad de aloquemas pasando a tener una textura *wackestone*. Luego, se tienen 2.20 m de calizas *mudstone* con escasos bioclastos y 2.50 m de *wackestone* laminar bioturbada.

Finalmente, entre los metros 296.90 al 300.50, se encuentran principalmente calizas *packstone* con foraminíferos planctónicos y equinodermos principalmente. Fragmentos de bivalvos, ocasionales ostrácodos, escasos braquiópodos y equinodermos se identifican en la sección delgada. El porcentaje del cuarzo detrítico llega al 3% y se tiene pirita diseminada fina en la roca. En ocasiones las calizas presentan laminación y bioturbación (Figura 9.114 y 9.115). Los siguientes 4 m comprenden calizas *wackestone* laminadas, con escasos bioclastos, que se encuentran bioturbadas.

En los últimos 2.80 m del taladro, hasta llegar a 307.30 m, se encuentra material orgánico que corresponde al suelo.

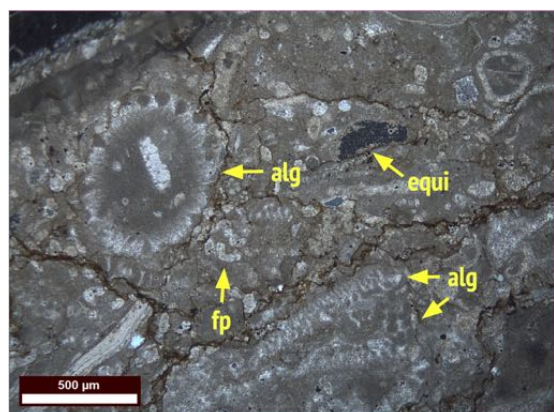


Figura 9.108: SD576770. XPL. Caliza *packstone* con foraminíferos planctónicos (*fp*) y algas (*alg*) como bioclastos principales. Algunos fragmentos de equinodermos (*equi*) también son identificados.

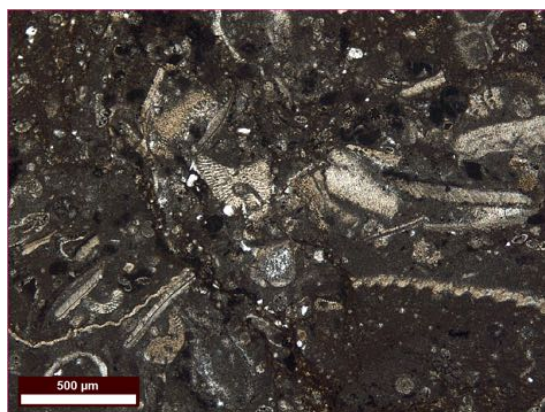


Figura 9.109: SD576769. PPL. Caliza *packstone* bioclástica con abundantes fragmentos de equinodermos. La fábrica es caótica.

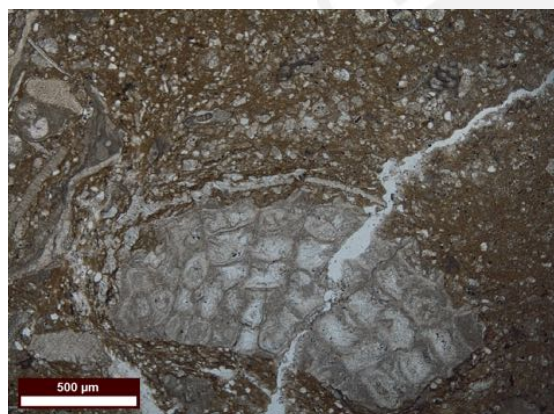
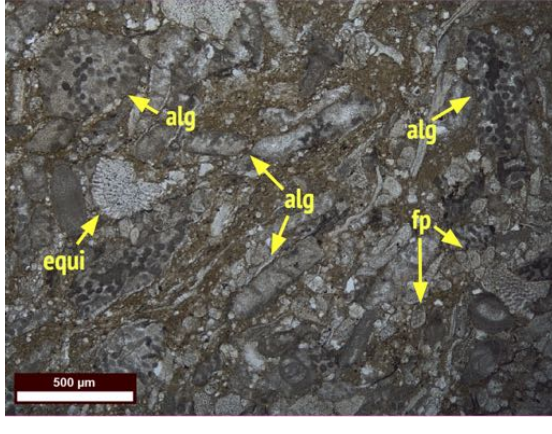
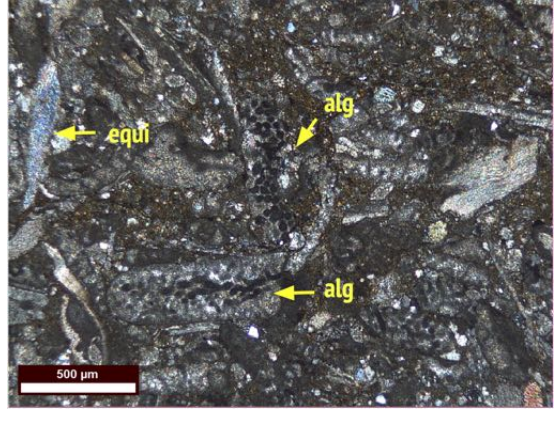

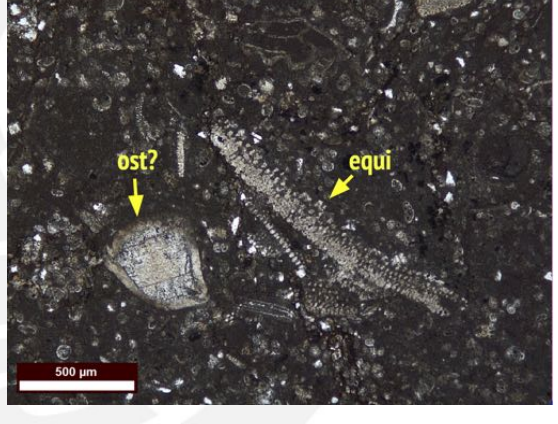


Figura 9.110: SD576769. PPL. Colonia de briozoarios.



Figura 9.111: SD576769. PPL. Caliza *packstone* con foraminíferos bentónicos (*fb*) y planctónicos (*fp*), fragmentos de bivalvos (*biv*), ostrácodos y equinodermos (*equi*). La roca parece haber sufrido brechamiento.

	
<p>Figura 9.112: SD576768. PPL. Caliza <i>packstone</i> bioclástica. Entre los bioclastos se encuentran abundantes algas (<i>alg</i>) y foraminíferos planctónicos (<i>fp</i>), algunos fragmentos de equinodermos (<i>equi</i>) y ocasionales miliólidos.</p>	<p>Figura 9.113: SD576768. XPL. Caliza <i>packstone</i> bioclástica, se distinguen mayoritariamente algas (<i>alg</i>), foraminíferos y fragmentos de equinodermos (<i>equi</i>).</p>
	
<p>Figura 9.114: SD576767. PPL. Caliza <i>packstone</i> con abundantes foraminíferos planctónicos y 3% de cuarzo.</p>	<p>Figura 9.115: SD576767. PPL. Caliza <i>wackestone</i> a <i>packstone</i> con foraminíferos planctónicos, posible ostrácodo (<i>ost</i>) y equinodermo (<i>equi</i>).</p>

Finalmente, se presenta toda la columna obtenida a partir del taladro con sus respectivas facies (Figura 9.116).



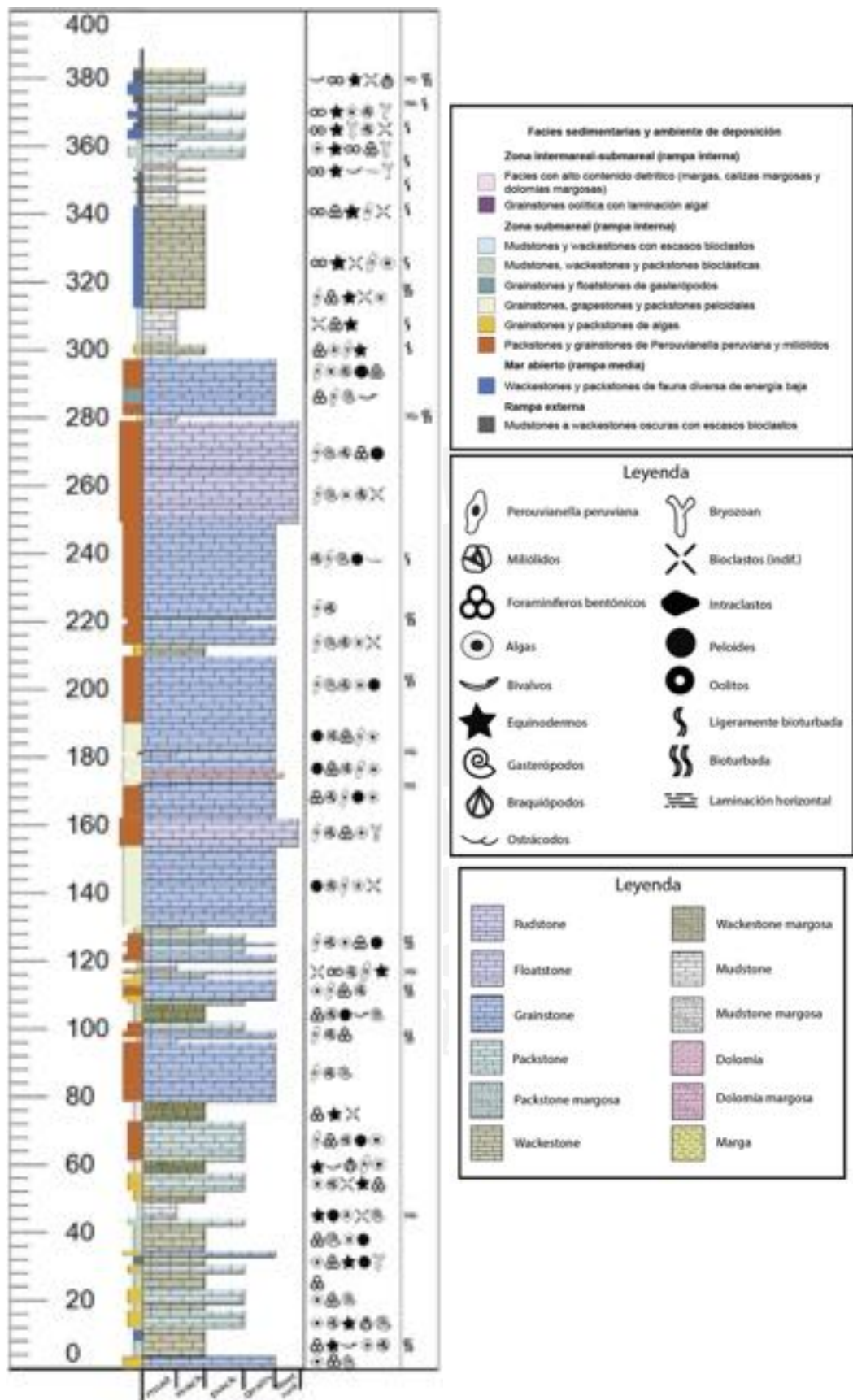


Figura 9.116: Columna estratigráfica y de facies del Jumasha obtenida a partir del taladro.

## 10. Evolución sedimentaria de las columnas

En esta sección se realiza la interpretación del desarrollo de las facies, explicando su evolución y se agrega la información de las facies en las columnas digitalizadas (Figuras 9.75 y 9.116). **Para ello, se utiliza la información detallada en el capítulo 6.**

### 10.1. Columna Chinche

#### 10.1.1. Miembro Jumasha Inferior

Las facies sedimentarias de la Columna Chinche son descritas desde la base hacia el techo y se agrupan según el ambiente deposicional. Estratos aislados de baja potencia o que rompen con la secuencia no son tomados en cuenta, pues se busca brindar una descripción que permita la identificación de las facies más importantes y de los ambientes dominantes.

La base de la columna se encuentra en el contacto de la Formación Pariatambo y la Formación Jumasha. Los primeros 21.60 m corresponden a una secuencia de dolomías *mudstone* con muy escasos bioclastos y con contenido de cuarzo menor al 1%, por lo que se considera que la secuencia es parte de un ambiente submareal de rampa interna.

Hasta el metro 36 se tienen predominantemente margas con escasa fauna que, en ocasiones, presentan laminaciones. Este tramo se podría pertenecer a la facies con alto contenido detrítico de rampa interna.

A continuación, los paquetes de margas son interrumpidos por un paquete 3.20 m de dolomías *mudstone* que contienen una fauna más variada (bivalvos, ostrácodos, foraminíferos, equinodermos, entre otros) además de peloides. Estas dolomías corresponderían a un ambiente submareal más distal.

Del metro 40.60 al 151.70 se tiene una intercalación de las tres facies anteriormente

descritas, por lo que se interpretaría que el ambiente de deposición sería una rampa interna con regresiones y transgresiones marinas que provocarían la alternancia entre facies submareales e intermareales-submareales.

Desde el metro 151.70 al 278.40, pasan a ser predominantes las dolomías y calizas *mudstone* a *wackestone* de inexistente o escasa fauna (fragmentos de bivalvos, algas, entre otros) correspondiente a un ambiente submareal de rampa interna, tipo *lagoon*. Muy ocasionalmente, estratos aislados de calizas *grainstone* oolíticas bioclásticas con laminación algal interrumpen dicha secuencia, lo que sugiere que en dichos niveles el ambiente pasaría a ser de alta energía y correspondería a un ambiente intermareal a submareal de rampa interna, posiblemente cercano a una barra.

A partir de los 243.05 m, las dolomías y calizas *mudstone* de escasa fauna se alternan muy ocasionalmente con algunos estratos de rocas con mayor cantidad de aloquemas, como calizas *packstones* con peloides y foraminíferos. Dichas calizas evidenciarían un ambiente submareal cuyo sistema estaba ligeramente restringido por ciclos.

Finalmente, 21.60 m de margas, calizas y dolomías margosas que indican un ambiente intermareal-submareal de tipo *lagoon*, marcarían el fin del miembro inferior. Este nivel se interpreta como el primer marcador estratigráfico, cuyo techo da paso a una secuencia mucho más bioclástica que será descrita a continuación.

### ***10.1.2. Miembro Jumasha Medio***

A partir del metro 300 ocurren calizas *grainstone* a *packstone* compuestas principalmente por peloides y bioclastos (foraminíferos bentónicos, bivalvos, ostrácodos, algas, braquiópodos, equinodermos y, en ocasiones, gasterópodos). Entre los foraminíferos, aparecen por primera vez los miliólidos, que son foraminíferos bentónicos que usualmente se desarrollan

zonas sin importante aporte detrítico. Esta facies de calizas peloidales se interpreta como un ambiente submareal de rampa interna ligeramente restringido, relacionado por lo menos en una parte a una barra submareal. Estas rocas alternan hasta los 351.10 m con facies más distales de rampa interna, que corresponden a las facies de calizas bioclásticas y las calizas de escasos bioclastos.

Del metro 351.10 al 359.10, el sistema sufre una repentina profundización evidenciado por un nivel de caliza *wackestone* con escasos bioclastos (equinodermos, braquiópodos, bivalvos, foraminíferos, briozoarios y algas). La predominancia de equinodermos y la presencia de briozoarios indican un ambiente más profundo y alejado de la costa, por lo que este nivel correspondería a un ambiente de rampa media o mar abierto.

Posteriormente, el sistema pasa a ser nuevamente de ambiente submareal de rampa interna, evidenciado por el paquete de 5 m de calizas *grainstone* con predominancia de peloides, posiblemente relacionado a un ambiente de barra submareal. Una nueva profundización se lleva a cabo desde el nivel 364.10 hasta el 375.10, donde predominan calizas *wackestone*. La presencia de equinodermos y briozoarios sugieren nuevamente un ambiente de rampa media o mar abierto.

Desde el metro 375.10 al 412.20 se tienen calizas *wackestone*, *packstone* y *grainstone* predominantemente peloidales y bioclastos (algas, foraminíferos, bivalvos, gasterópodos y equinodermos) que corresponden a un ambiente submareal de rampa interna, posiblemente relacionado a un ambiente de barra submareal.

La secuencia de calizas peloidales se ve interrumpida por calizas *mudstone* laminares con ausencia de bioclastos, dicha secuencia se interpreta como un ambiente de rampa exterior de energía muy baja donde el sistema no se ve afectado por tormentas; pudiendo tratarse también de un ambiente restringido tipo *lagoon*. El sistema migra hacia un ambiente de rampa

media, donde se tienen calizas con equinodermos y crinoideos. Luego, desde el metro 412.20 hasta el 420.50 se tienen facies de mayor profundidad.

A la secuencia anterior, se le sobreponen inmediatamente 1.65 m de calizas *packstone* bioclásticas donde las algas tipo *Dasycladales* son abundantes. La presencia de estas algas indicaría un ambiente submarino somero de rampa interna que se encuentra ligeramente restringido, tipo *lagoon*. Luego, aparece un estrato de 1.15 m de *packstone* con abundantes gasterópodos de 3 a 5 cm de tamaño, que sugeriría una zona submareal somera de energía media a alta que podría tratarse de una barra submareal.

Entre los metros 420.50 a 546.20 ocurre un sistema potente de calizas *wackestone* bioclásticas, con intercalaciones escasas de las calizas descritas en el párrafo previo, el ambiente sugerido es submareal distal de rampa interna.

A continuación, del metro 546.20 al 616.20 dominan calizas *wackestone a packstone* con algas como bioclasto principal, se tienen también en menor proporción foraminíferos bentónicos (miliólidos principalmente) y peloides. La existencia de este nivel potente de 70 m con abundancia de algas indicaría que se tuvo un ambiente submareal somero ligeramente restringido, tipo *lagoon*, de rampa interna.

Desde el metro 616.20 al 631.20, debido a algún evento clástico, el contenido de cuarzo detrítico aumenta sustancialmente hasta llegar al 35%, teniéndose calizas *wackestone* margosas con algunos bioclastos (miliólidos, foraminíferos, bivalvos, ostrácodos y equinodermos). Estas calizas margosas comprenden los últimos 15 m del miembro medio de la Formación Jumasha y son interpretadas como propias de un ambiente submareal de rampa interna, el cual pasó por un periodo de avalancha clástica.

### 10.1.3. Miembro Jumasha Superior

Los estratos ubicados entre los metros 631.20 y 681.20 no fueron mapeados por dificultades de acceso pero, inmediatamente después, se encontraron 5 m de calizas *grainstone* de peloides y miliólidos, los cuales corresponden a un ambiente submareal de rampa interna ligeramente restringido, en la cercanía de una barra submareal. La particularidad de este nivel es que se encuentra un nuevo tipo de foraminífero bentónico alargado, identificado como *Perouvianella peruviana*, que caracteriza al Miembro Jumasha Superior.

Desde el metro 686.20 aparecen calizas *grainstone* y *packstone* con una marcada dominancia de *Perouvianella peruviana* que puede ser reconocida inclusive en muestra de mano por su forma alargada. A partir de este nivel este foraminífero suele aparecer asociado con miliólidos, algas y gasterópodos. Es por ello que desde el metro 691.20 hasta el 742.20, se encuentra que las calizas ricas en *Perouvianella peruviana* alternan con calizas donde predominantemente se encuentran miliólidos y algas asociadas a este foraminífero tan particular. La proliferación de *Perouvianella peruviana* indicaría un ambiente submareal de rampa interna, en parte de tipo barra submareal, con, usualmente, un aporte detrítico prácticamente nulo, de la misma forma que con las demás calizas con la que se alternan.

Entre el metro 742.20 y el 768.20, son predominantes las calizas *grainstone* y *packstone* ricas en *Perouvianella peruviana*. Estas alternan muy ocasionalmente con estratos de 2 m de potencia de calizas *mudstone* oscuras sin bioclastos. Esta secuencia se interpreta entonces como un ambiente submareal de rampa interna, posible barra submareal, sin aporte detrítico, el cual sufre ocasionalmente inundaciones evidenciadas por las calizas *mudstone* de rampa externa.

No fue posible recolectar datos en los 12 m comprendidos entre el nivel 768.20 al 780.20 debido a la gran pendiente del afloramiento. En los 9 metros siguientes vuelven a aparecer las calizas que contienen abundantes *Perouvianella peruviana* y calizas *grainstone*

compuestas principalmente por algas. Finalmente, 10 m de calizas de gasterópodos de gran tamaño (3 a 5 cm) confirman que hasta el metro 799.20 se mantuvo el ambiente submarino de rampa interna.

A continuación, desde el metro 799.20 hasta el 819.20, se tiene un nivel de calizas margosas bioturbadas con escasos bioclastos (fragmentos de bivalvos y otros indiferenciados). La escasez de fauna indicaría un ambiente más restringido, posible ambiente intermareal-submareal tipo *lagoon*.

En los 6.5 m posteriores se tiene una caliza *wackestone* con fragmentos de *Perouviannella peruviana* y bivalvos. La roca no tiene contenido detrítico y presenta baja clasificación. Los siguientes 4 m se componen de calizas *packstone* bioclásticas de baja clasificación, entre los aloquemas se tiene *Perouviannella peruviana* y también es posible encontrar ocasionales briozoarios. Todas estas características indicarían que la sedimentación de estos 10.5 m ocurrió en una zona de transición de rampa interna a rampa media. Cabe resaltar que a partir de este nivel, la *Perouviannella peruviana* se extingue.

En los 8.5 m siguientes se tienen calizas *wackestone* con foraminíferos planctónicos miliólidos, algas, otros fragmentos de bioclastos indiferenciados y un porcentaje de cuarzo menor al 2%. Los foraminíferos planctónicos indicarían una mayor profundidad dentro de la cuenca, mientras que los miliólidos y algas indicarían una zona más somera, por lo que este nivel se interpreta como una transición de rampa interna a rampa media.

Inmediatamente después, 5 m de calizas *grainstone*, donde predominan algas y foraminíferos bentónicos, evidencian que el sistema se convierte en un ambiente submarino somero de rampa interna. A partir del metro 843.20, se encuentran calizas *wackestone* a *packstone* con abundantes foraminíferos planctónicos. Entre los demás bioclastos se encuentran miliólidos, otros foraminíferos bentónicos, algas, equinodermos, ocasionales briozoarios y

escasos fragmentos de posibles bivalvos y braquiópodos. Estas rocas indican que el ambiente se desarrolló en la zona de mar abierto o de rampa media.

Entre los metros 859.10 y 885.40 las calizas *packstone* a *wackestone* siguen conteniendo principalmente foraminíferos planctónicos. Los demás aloquemas presentes en la roca son idénticos al nivel anterior, con excepción de los miliólidos, que no vuelven a aparecer. Por lo tanto, se interpreta que el ambiente sigue siendo de mar abierto o de rampa media.

A partir del metro 885.40 al 922.10 se tienen calizas *wackestone* y *mudstone* con equinodermos como bioclasto principal. La roca tiene también otros bioclastos como foraminíferos planctónicos y fragmentos de posibles bivalvos. La abundancia de los equinodermos puede sugerir que el ambiente es de mar abierto o rampa media, pero más distal que los niveles de rampa media anteriores.

Finalmente, se tiene un nivel de 3.10 m de caliza *wackestone* con abundantes fragmentos de equinodermos y hasta 5% de cuarzo subangular o anguloso detrítico. Inmediatamente después, hasta llegar al techo de la columna en el nivel 928.20, se encuentra un nivel de dolomía calcárea *mudstone* con ausencia total de bioclastos y hasta un 5% de cuarzo. La ausencia de bioclastos indica que se estaría en una facies de rampa exterior que tuvo aporte detrítico debido a algún evento clástico específico.

## **10.2 Columna Yumpag (taladro YUM-10-11)**

### ***10.2.1. Miembro Jumasha Medio***

La columna empieza con 3.30 m de calizas *grainstone* con algas, foraminíferos y gasterópodos. Encima de estas calizas se tienen 4.60 m de calizas *wackestone* bioclásticas de fauna variada. Se interpreta que la sedimentación de estos niveles se dio dentro de la zona de rampa interna submareal, incluyendo fases de barra submareal.



A continuación, se tienen 3.30 m de calizas *wackestone* bioclásticas de una fauna variada donde los abundantes equinodermos y la presencia de ocasionales briozoarios indicarían que se estaría en un ambiente más profundo. Sin embargo, algas, foraminíferos bentónicos y miliólidos indicarían que estas calizas corresponden a una transición de rampa interna a rampa media.

Desde el metro 11.20 al 30.30 se repite la secuencia de la base de la columna, alternando calizas *wackestone* bioclásticas con calizas *packstone* cuyos bioclastos principales son las algas, foraminíferos y gasterópodos. Es así, que se considera que estas rocas se habrían sedimentado dentro de la zona submareal de la rampa interna.

En el metro 30.30, se tienen 2.70 m de calizas *wackestone* con equinodermos y braquiópodos en gran parte fragmentados. La fragmentación de los bioclastos presentes en la roca indica que se podría tratar de un evento de tormenta dentro de la zona de plataforma externa. Del metro 33.00 al 49.20 se tienen 1.50 m de calizas *grainstone* ricas en algas y peloides, probable ambiente de barra submareal, seguidas por 9.50 m de calizas *wackestone* a *packstone* de fauna variada y de 5.20 m de calizas *mudstone* con escasos bioclastos. Estos niveles representan una secuencia regresiva que empezaría en la rampa media, plataforma externa, y terminaría en la zona submareal de rampa interna, barra submareal.

Entre el metro 49.20 a 57.60 se encuentran secuencias de calizas *wackestone* a *packstone* con algas y foraminíferos como bioclastos predominantes, pudiéndose encontrar miliólidos, bivalvos, equinodermos, braquiópodos y algunos gasterópodos. Este nivel evidenciaría que se habría pasado a una zona submareal de rampa interna más distal.

Desde el metro 57.60 al 78.60, se tiene una secuencia de 21 m de calizas *wackestone* margosas bioclásticas que llegan a tener un 30% de cuarzo. Entre los bioclastos se pueden encontrar foraminíferos, equinodermos, miliólidos, braquiópodos, *Perouvianella peruviana* y

algas. Estas rocas alternan con otras calizas *packstone* que contienen *Perouvianella peruviana*, foraminíferos bentónicos, miliólidos, algas, equinodermos, braquiópodos, peloides y escaso contenido de cuarzo. La aparición de la *Perouvianella peruviana* dentro de paquetes de calizas margosas, indicaría que se estaría en una transición de zona submareal a intermareal dentro de la rampa interna con un evento clástico.

### **10.2.2. Miembro Jumasha Superior**

La *Perouvianella peruviana* y los miliólidos se vuelven predominantes en los siguientes 17.60 m de calizas *packstone* a *grainstone*, donde estos bioclastos se asocian con algas y otros foraminíferos bentónicos. Además, en campo pudieron distinguirse gasterópodos de gran tamaño (3 a 5 cm). A continuación, a partir del metro 96.20, dichas calizas alternan con calizas *wackestone* a *mudstone* bioclásticas y con calizas *grainstone* a *packstone* ricas en algas. Las características de estas dos últimas facies se mantienen respecto a los niveles de la base de la columna, con la particularidad que la *Perouvianella peruviana* aparece en casi todos los niveles. Esta secuencia se mantiene por 34.20 m hasta llegar al metro 130.40 y se trataría de una zona submareal de rampa interna que sufre continuamente eventos de somerización y profundización.

En los siguientes 23.50 m, las calizas *grainstone* presentan abundantes peloides y miliólidos. Entre los demás bioclastos se tiene *Perouvianella peruviana*, algas y fragmentos de bivalvos. La predominancia de peloides, como parte de una *grainstone*, indica un ambiente submareal ligeramente restringido, *lagoon* cercano a la barra submareal, dentro de la rampa interna. Del metro 153.90 al 171.70 vuelven a aparecer calizas *grainstone* de *Perouvianella peruviana* y miliólidos, por lo que se confirma que el ambiente seguiría siendo submareal de rampa interna. Posteriormente, el sistema sufre una repentina profundización evidenciada por 0.5 m de calizas *mudstone* oscuras laminares que corresponden a la rampa externa.

A continuación, se tiene un paquete de 8.60 m de calizas *grainstone* de peloides y miliólidos que corresponde nuevamente a un ambiente submareal de rampa interna, cercana a una barra submareal. Inmediatamente después, un nuevo nivel de 0.5 m de calizas *mudstone* laminares de rampa externa indican que ocurrió una repentina profundización. Finalmente, se encuentran 8.30 m de *grainstone* de peloides y miliólidos, que indicaría que el ambiente volvió a ser submareal de rampa interna.

Desde el metro 190.10 al 297.50 se tienen bancos de calizas *grainstone* que contienen abundante *Perouvianella peruviana* asociada a gasterópodos principalmente, pudiendo también encontrar algas, miliólidos y otros foraminíferos bentónicos. Esta secuencia es interrumpida muy ocasionalmente por calizas *wackestone* ricas en algas y calizas *grainstone* con abundantes gasterópodos. Se confirmaría entonces que el ambiente se mantuvo como el de una zona submareal de rampa interna. Por otro lado, la malaquita encontrada en la muestra podría indicar la presencia de un posible foco mineralizante, aunque a considerable distancia debido a la muy escasa presencia de este mineral.

Seguidamente, se tienen 15.20 m de calizas *mudstone* de escasos bioclastos que se interpretan de zona submareal proximal de rampa interna. Dentro de la base de esta secuencia se encuentran 2.90 m de calizas *wackestone* ricas en algas y foraminíferos. Toda esta secuencia correspondería a una zona submareal dentro de la rampa interna.

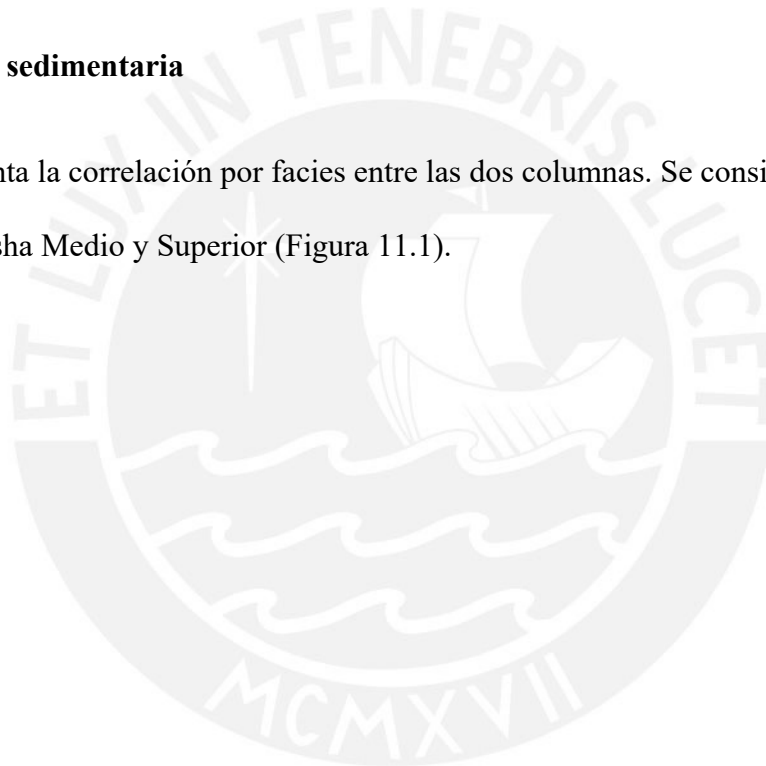
Entre los metros 312.70 y 342.80, la facies cambia abruptamente respecto a la anterior, teniéndose *wackestones* con escasos bioclastos donde aparecen foraminíferos planctónicos, fragmentos de equinodermos y briozoarios. La asociación de miliólidos, algas y *Perouvianella peruviana* es escasa. Este es el último nivel en el que aparece la *Perouvianella peruviana* antes de extinguirse. Posteriormente, entre los metros 342.80 a 351.20 se encuentran calizas *mudstones* y *wackestone* oscuras con escasos bioclastos. Toda esta secuencia se interpreta como

una profundización del sistema, pasando de un ambiente de rampa media de mar abierto a una rampa externa de mar relativamente profundo.

A continuación, se tiene 1.90 m de calizas *wackestone* de rampa media, como las anteriormente descritas, y seguidamente, 9.30 m de calizas *wackestone* bioclásticas que corresponden a una zona de rampa interna. Finalmente, entre los metros 362.40 y 383.10 las rocas alternan entre *packstones* de rampa media a *mudstones* de rampa externa, por lo que el sistema habría sufrido eventos cíclicos de profundización y somerización.

### **11. Correlación sedimentaria**

Se presenta la correlación por facies entre las dos columnas. Se consideran solo los miembros Jumasha Medio y Superior (Figura 11.1).



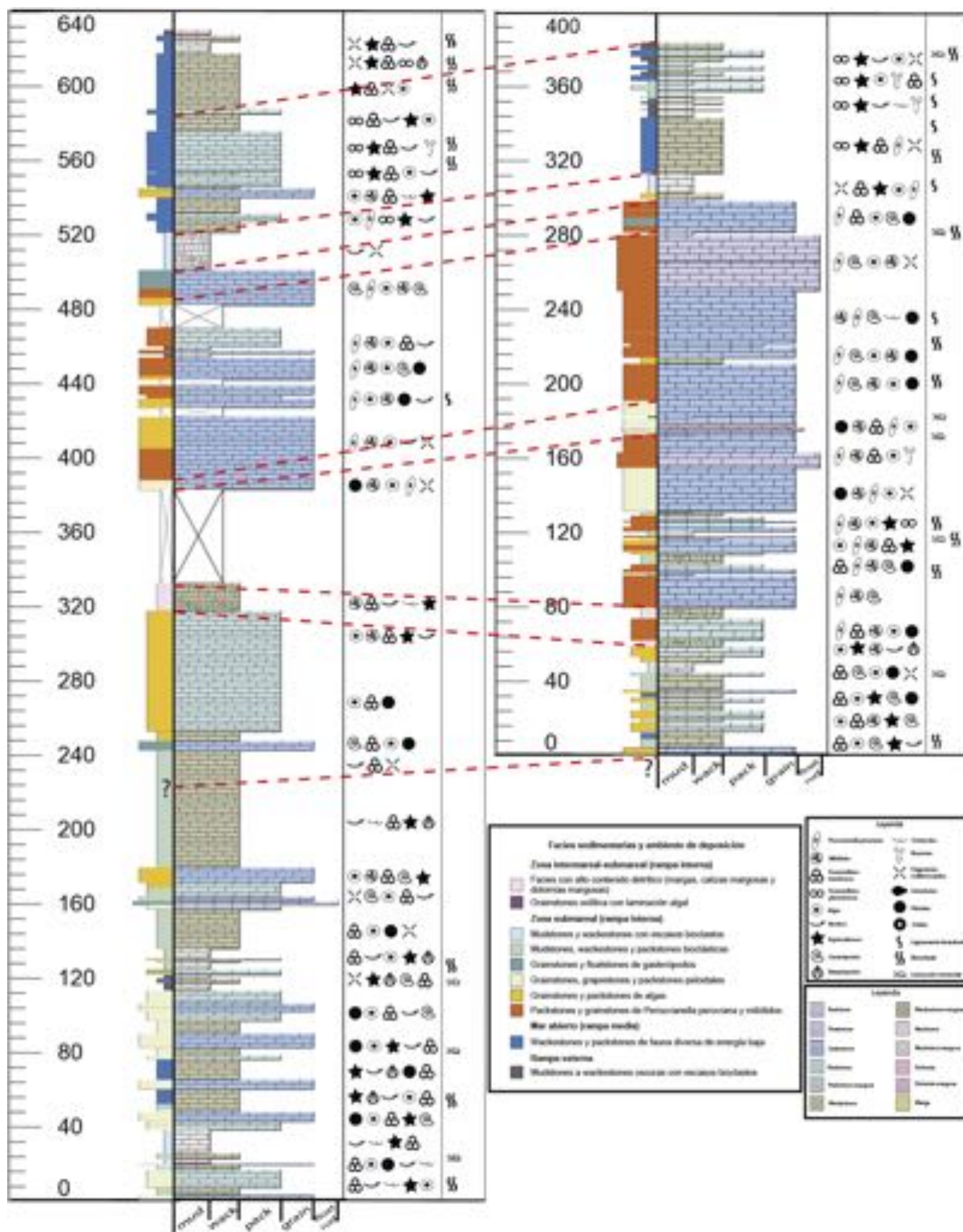


Figura 11.1: Correlación de facies de ambas columnas.

Como se señaló previamente, el sondaje YUM-10-11 de la columna Yumpag, abarca solo 383.10 metros, que corresponden al techo del miembro medio y parte del miembro superior. Se debe precisar que en el logeo realizado al taladro YUM-10-11 se pudo tener más

detalles para registrar en la columna, a comparación de la información levantada en campo, debido a una mayor facilidad para detallar e identificar los distintos niveles que se presentan. Dado que la distancia entre columnas es de aproximadamente 9 km, se decide correlacionar respecto a las facies identificadas, así como algunas características litológicas particulares. Las columnas de facies fueron de gran ayuda para entender con mayor facilidad la evolución de la cuenca carbonatada.

Se identifica como el fin del miembro medio e inicio del superior a las calizas margosas que, en caso de la Columna Yumpag, alternan con estratos de calizas *packstone* ricas en *Perouvianella Peruviana* y miliólidos. Los fósiles en común encontrados en dichas calizas margosas (foraminíferos bentónicos, fragmentos de posibles bivalvos y equinodermos) confirman la correlación planteada. Esta secuencia marcadora se encuentra entre los metros 316.20 a 331.20 en Chinche y a 57.60 a 78.60 en Yumpag. Esta secuencia fue clave para estimar las potencias de los miembros de la Formación Jumasha.

Debajo de la secuencia marcadora, en caso de la columna Chinche, predominan las facies *packstone* de algas y calizas *wackestone* bioclásticas, que son también encontradas debajo de la secuencia marcadora de la columna Yumpag, donde por tratarse de un sondaje, se pudo registrar a más detalle la alternancia con otras facies. En ambas columnas, la presencia de algas, foraminíferos bentónicos y gasterópodos confirman dicha correlación. Ya que el sondaje solo abarcó los últimos 78.60 metros del miembro medio en Yumpag, no es posible correlacionar los límites inferiores de estas secuencias.

Por otro lado, los primeros 50 metros del miembro superior en Chinche no pudieron ser mapeados por dificultades de acceso, mientras que en Yumpag se registraron secuencias principalmente de calizas *grainstone* de *Perouvianella Peruviana* y miliólidos y calizas *grainstones* peloidales. Se toma entonces como referencia el último estrato de calizas peloidales

en Chinche con el equivalente en Yumpag, donde adicionalmente se puede comprobar que ambos estratos de dichas calizas contienen los mismos aloquemas (peloides, miliólidos, otros foraminíferos bentónicos, *Perouvianella peruviana* y algas).

Las calizas peloidales dan paso a secuencias de calizas *grainstone* de *Perouvianella Peruviana* y miliólidos, que en caso de la columna Chinche, alternan frecuentemente con calizas *grainstone* de algas. Entre los demás bioclastos característicos de estos niveles están los gasterópodos que pudieron ser encontrados sobre todo en el sondaje de Yumpag. Estas secuencias se ubican entre los 386.20 y 484.20 metros en Chinche y entre los 190.10 y 281.00 metros en Yumpag.

A continuación, en ambas columnas se encuentran estratos de aproximadamente 15 metros de calizas *grainstone* con abundantes gasterópodos y *Perouvianella Peruviana*, a las cuales les siguen 15.20 m de calizas *mudstone* de escasa fauna con fragmentos de bioclastos que fueron identificadas en campo en el caso de Chinche como calizas margosas.

Tanto para la columna Chinche como para Yumpag, la *Perouvianella Peruviana* hace su última aparición en los estratos superiores inmediatos a las calizas *mudstone* y *wackestone* de fauna diversa de energía baja, donde empiezan a dominar foraminíferos planctónicos, equinodermos y briozoarios. En el caso de Yumpag, las calizas alternan con calizas *wackestone* y *mudstone* oscuras de muy escasos bioclastos.

Finalmente, los foraminíferos planctónicos se vuelven dominantes junto a los equinodermos entre 543.20 a 582.90 m para la columna Chinche y entre 321.50 hasta 383.10 m (final de la columna Yumpag). Los últimos metros de la columna Chinche no guardan relación con ningún nivel en Yumpag, por lo que no fueron correlacionados.

Esta correlación muestra una similitud ambiental entre ambas columnas y podría señalar

que ambas se encontrarían aproximadamente a la misma distancia de la línea de costa, mostrando una evolución sedimentaria similar.

## 12. Discusión

### 12.1. Facies y posible prospectividad

Las facies bioclásticas predominantes en la primera mitad del miembro superior de ambas columnas contienen *Peruvianella peruviana*, algas, miliólidos y otros foraminíferos bentónicos, para cuya proliferación la rampa debió verse aislada para contar con un muy bajo o nulo aporte detrítico. Esto se considera que podría ser producto del levantamiento del Bloque del Marañón tal como plantea Jaillard (1986), el cual habría restringido a la cuenca de aportes terrígenos producto de la erosión del Cratón Brasileño.

En la Columna Chinche, se encontró que los últimos metros presentan una fauna típica de mar abierto, pero con un porcentaje de material detrítico que llega hasta 5%, donde se distinguen que los extraclastos de cuarzo son angulosos a subangulosos. La presencia de extraclastos de poco transporte en calizas de mar abierto se debería a una avalancha de material detrítico que estaría relacionada con el inicio de la erosión del Bloque del Marañón como fue planteado por Navarro-Ramírez *et al.* (2017).

No todas las calizas *grainstones* o *packstones* serán igual de prospectivas, ya que su potencial para ser roca hospedadora de minerales estará en función de los aloquemas dominantes que contengan. Por ejemplo, las calizas peloidales no serían igual de prospectivas que las calizas de *Peruvianella peruviana* y gasterópodos, ya que los peloides, a diferencia de los bioclastos, disminuyen la permeabilidad propia de estas facies.

Un mayor contenido detrítico dentro en las calizas, como la presencia de cuarzo, haría que la roca carbonatada sea menos reactiva a los fluidos hidrotermales, lo cual dificultaría el



transporte de estos fluidos. Los niveles con mayor contenido de cuarzo, al igual que los de rocas con permeabilidad baja, podrían actuar como un nivel que sella la salida de fluidos hidrotermales (“roca sello”), permitiendo una deposición de minerales de mena en la roca predecesora.

Las facies de calizas *mudstone* y *wackestone* actúan como “roca sello” y, a pesar de tener en casos una alta porosidad no tienen una buena permeabilidad, por lo que no serían capaces de permitir el transporte de fluidos hidrotermales. Las calizas *grainstone* en cambio, presentan una permeabilidad mayor (Enos y Sawatsky, 1981), por lo que las rocas serían más propensas a alojar el mineral.

Por último, los análisis de XRD permitieron confirmar la mineralogía y la posible presencia de arcillas en las rocas, lo cual ayuda en la identificación de litologías y facies dentro de la rampa carbonatada. Para una mejor identificación del tipo de arcillas se recomienda hacer estudios en preparaciones orientadas de arcillas en XRD.

## **12.2. Secuencias marcadoras**

Dada la gran potencia que alcanza la Formación Jumasha, diversos estudios, como el de Jaillard y Arnaud-Vanneau (1993), describen secuencias marcadoras de margas que sirven como guía para separar los miembros de dicha formación. En este estudio, las calizas margosas y margas encontradas en las columnas levantadas, son denominadas como tales, debido a que contienen cuarzo tamaño limo grueso, además de arcillas en cantidades no cuantificables por el método utilizado (XRD). Es por ello que, dado que el contenido de cuarzo detrítico sería mayor al contenido de arcillas, se podría interpretar que la cuenca pasó por ciertos periodos, donde eventos de avalanchas clásticas afectaron la sedimentación. El carácter aislado y momentáneo de estas avalanchas clásticas se puede confirmar con lo observado en el sondaje Yumpag, donde las calizas margosas alternan con calizas ricas en *Perouvianella peruviana*.

Entendiendo que un contenido mayor de arcillas en las margas implicaría que estas corresponden a zonas de mayor profundidad dentro de la rampa carbonatada, lo encontrado en este estudio difiere en parte a lo planteado por Jaillard (1986) en Oyón, que concluye que los niveles margosos indican períodos de hundimiento. No obstante, en las columnas levantadas, las secuencias marcadoras representarían los eventos de avalanchas clásticas sin implicar necesariamente períodos de hundimiento. Esto concuerda con lo planteado por Rosas (2016) para la cuenca del Pucará, donde indica que, contrario a lo inicialmente planteado, no toda la cuenca presenta las mismas facies profundas, ya que la subsidencia no necesariamente habría ocurrido a lo largo de la totalidad de la cuenca.

No obstante, en este estudio se siguen teniendo a las secuencias margosas como guías de exploración dentro de la Formación Jumasha. La identificación en campo de estas secuencias marcadoras resulta importante para la exploración, ya que permite ubicar de manera práctica la zona de la formación que se está buscando. De esta manera, teniendo un levantamiento geológico detallado e identificando las zonas de interés, se puede ahorrar en costos de posibles perforaciones o exploraciones cuando se esté buscando un horizonte en particular.

### **13. Conclusiones**

La Formación Jumasha es una secuencia de rocas carbonatadas que alberga distintos yacimientos en la zona norte y central del Perú. Debido a sus diversas litologías, reactividad ante fluidos hidrotermales, disposición de estratos, entre otros factores, se requiere un estudio geológico detallado para poder entender las características litológicas de la formación y ubicar nuevas zonas prospectivas.

La división de la Formación Jumasha en tres miembros, con sus respectivas secuencias marcadoras, así como la identificación de 10 facies asociadas a 4 ambientes deposicionales dentro una rampa carbonatada, permiten confirmar que ésta se originó a partir de un evento

transgresivo de gran escala, dentro del cual ocurrieron otros eventos transgresivos y regresivos de menor escala.

El Miembro Jumasha Inferior presenta principalmente dolomías, calizas de grano fino y margas sin zonas considerables de alto contenido bioclástico. La primera mitad del Miembro Jumasha Medio se compone en su mayoría de calizas de grano grueso a medio, siendo la primera mitad calizas peloidales y bioclásticas con abundantes algas, foraminíferos bentónicos y gasterópodos; mientras que, la segunda mitad hacia el techo, se trata de calizas bioclásticas con predominancia de algas y miliólidos. Por otro lado, el Miembro Jumasha Superior se compone de calizas de grano grueso ricas en *Perouvianella Peruviana*, miliólidos, algas y gasterópodos, exceptuando la zona superior, donde hay predominancia de calizas de grano fino con foraminíferos planctónicos y equinodermos, que en los últimos metros ven aumentado su contenido en cuarzo.

En este estudio se ha comprobado que secuencias marcadoras margosas con cuarzo detrítico tamaño limo marcan el paso de un miembro a otro. Esto sugiere la ocurrencia de eventos de avalanchas clásticas y no necesariamente de hundimiento del sistema, lo que evidenciaría que la subsidencia planteada por otros autores no habría afectado a toda la cuenca. Así también, se concluye que eventos de mayor magnitud, como el levantamiento del Bloque del Marañón habría aislado la cuenca permitiendo la proliferación de organismos como la *Perouvianella Peruviana* y demás foraminíferos bentónicos, los cuales se extinguieron por la colmatación de la cuenca en sedimentos detríticos, derivados probablemente de la erosión del mismo bloque.

Las columnas Chinche y Yumpag muestran una buena correlación de ambientes sedimentarios y facies, por lo que se puede concluir que ambas se habrían encontrado a una distancia similar de la línea de costa.

En cuanto a la relevancia económica, el Miembro Jumasha Inferior, a diferencia de los otros dos miembros, no representaría una zona de interés económico por su bajo contenido bioclástico y alto contenido siliciclástico. El tramo superior del Miembro Jumasha Medio y el tramo inferior del Miembro Jumasha Superior, en cambio, comprenden calizas bioclásticas de grano grueso y sin mayor contenido detrítico, muy propensas a reaccionar con fluidos hidrotermales. Además, la prospectividad de estas calizas, radica también en que se encuentran entre horizontes de rocas que actúan evitando el escape de los fluidos mineralizantes.

Para el Proyecto Yumpag, las exploraciones se deben centrar entonces, en identificar horizontes con abundantes paquetes de calizas bioclásticas, por ejemplo, *grainstones* y *packstones* puras que contengan *Perouvianella Peruviana* y gasterópodos, ya que estos bioclastos son fácilmente reconocibles en el campo. La correlación de columnas presentadas en este trabajo ha permitido, por ejemplo, ubicar una predominancia de estas especies dentro de la primera mitad del Miembro Jumasha Superior, específicamente a partir de la secuencia marcadora del Miembro Jumasha Medio hasta antes de la aparición de estratos continuos de calizas de grano fino.

Este estudio demuestra que, realizando un estudio detallado que permita conocer las facies asociadas y conocer la génesis de las calizas, se mejora el conocimiento de las rocas potencialmente prospectivas para albergar mena.

#### 14. Referencias

- Adams, A. E. y W. S. MacKenzie. (1998). *A Colour Atlas of Carbonate Sediments and Rocks Under the Microscope*. John Wiley & Sons, Toronto, 192 p.
- Alpers, C. N. (1980). *Mineralogy, paragenesis and zoning of the Luz Vein, Uchucchacua, Peru*. [Tesis de doctorado no publicada]. Harvard University, 138 p.

- Alván, A. (2018). *Análisis estratigráfico y sedimentológico de la Formación Jumasha: Superficie e Interior-Mina en Uchucchacua y alrededores*. Reporte interno. Cía. de Minas Buenaventura S.A.A, 53 p.
- Beckinsale, R. D., Sanchez-Fernandez, A. W., Brook, M., Cobbing, E. J., Taylor, W. P. y Moore, N. D. (1985). Rb-Sr whole-rock isochron and K-Ar ages for the Coastal batholith of Peru. En W. S. Pitcher, M. P. Atherton, E. J. Cobbing y R. D. Beckinsale (Eds.), *Magmatism at a plate edge: The Peruvian Andes*. Springer, 177-202.
- Benavides, V. (1956). Cretaceous System in Northern Peru. *American Museum of Natural History Bulletin*, 353–494.
- Bissig, T., Ullrich T. D., Tosdal R. M., Friedman, R. y Ebert, S. (2008). The time-space distribution of Eocene to Miocene magmatism in the central Peruvian polymetallic province and its metallogenetic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 26, 16–35.
- Bussell, M. A., Alpers, C. M., Petersen, U., Shepherd, T. J., Bermudez, C. y Baxter, A. M. (1990). The Ag-Mn-Pb-Zn vein, replacement, and skarn deposits of Uchucchacua, Peru: Studies of structure, mineralogy, metal zoning, Sr isotopes and fluid inclusions. *Economic Geology*, 85, 1348-1383.
- Carlotto, V. (2014). *Revisión sobre la Geología: Sedimentología y tectónica en los alrededores de la mina Uchucchacua*. Reporte interno. Cía. de Minas Buenaventura S.A.A, 50 p.
- Cobbing, J. (1973). Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. *Servicio de Geología y Minería, Perú*, 26 p.

- Consorti, L., Navarro-Ramírez, J. P., Bodin, S. e Immenhauser, A. (2018). The architecture and associated fauna of *Perouvianella peruviana*, an endemic larger benthic foraminifera from the Cenomanian–Turonian transition interval of central Peru. *Facies*, 64(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10347-017-0514-z>
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En W. E. Ham (Ed.). *Classification of carbonate Rocks*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, 108-121.
- Elrick, M., Molina-Garza, R., Duncan, R. y Snow L. (2009). C-isotope stratigraphy and paleoenvironmental changes across OAE2 (mid-Cretaceous) from shallow-water platform carbonates of southern Mexico. *Earth and Planetary Science Letters*, 277, 295-306.
- Embry, A. F. y Klovan, J. E. (1971). A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, NWT. *Canadian Petroleum Geology Bulletin*, 19, 730-781.
- Enos, P. y Sawatsky, L.H. (1981). Pore Networks in Holocene Carbonate Sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 961-986.
- Escalante, A. D. (2008). *Patterns of distal alteration zonation around Antamina Cu-Zn skarn and Uchucchacua Ag-Base Metal Vein Deposits, Peru*. [Tesis de doctorado no publicada]. The University of British Columbia, 788 p.
- Fischer, A. G. (1956). Desarrollo geológico del noroeste peruano durante el Mesozoico. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 30, 177-190.
- Flügel, E. (2010). *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer, Berlin, 984 p.

- Folk, R. L. (1959). Practical petrographic classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 43, 1-38.
- Folk, R. L. (1962). Spectral subdivision of limestone types. En W. E. Ham (Ed.), *Classification of carbonate Rocks-A Symposium*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, 62-84.
- Jacay, J. (2005). Análisis De La Sedimentación Del Sistema Cretáceo De Los Andes Del Perú Central. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 8(15), 49–59.
- Jaillard, E. (1986). La sédimentation crétacée dans les Andes du Pérou central: exemple de la Formation Jumasha (Albien moyen-supérieur) dans la région d'Oyon (département de Lima). *Université Grenoble Alpes*, 1(2), 97–108.
- Jaillard, E. (1987). Sedimentary evolution of an active margin during middle and upper cretaceous times: the north Peruvian margin from late aptian up to senonian. *Geologische Rundschau*, 76(3), 677–697. <https://doi.org/10.1007/BF01821058>
- Jaillard, E. y Arnaud-Vanneau, A. (1993). The Cenomanian–Turonian transition on the Peruvian margin. *Cretaceous Research*, 14, 585–605.
- Jenks, W. (1948). *Geología de la Hoja de Arequipa*. Instituto Geológico del Perú, 9, 204 p.
- Jenkyns, H. C. (1980). Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *Journal of the Geological Society*, 137(2), 171–188. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.137.2.0171>

- Ligarda, R., Arias, E., Sabán, C., Salazar J. C., Calderón, C. y 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*. X Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, Lima, Perú, 5 p.
- Ligarda, P. R., Arias, E., Salazar, J. C. y Luis, J. (2021). *Nuevos conceptos de exploración en el Distrito Minero de Uchucchacua, Perú central*. XII Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, Lima, Perú, 46–52.
- Lukasik, J. L., James, N. P., McGowran, B. y Bone, Y. (2000). An epeiric ramp: low-energy, cool-water carbonate facies in a Tertiary inland sea, Murray Basin, South Australia. *Sedimentology*, 47, 851–881.
- McLaughlin, D. H. (1924). Geology and physiography of the peruvian cordillera, departments of Junin and Lima. *Bulletin of the Geological Society of America*, 35(3), 591–632. <https://doi.org/10.1130/GSAB-35-591>
- Mégard, F. (1968). Geología del cuadrángulo de Huancayo. *Boletín del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*, Serie A: Carta Geológica Nacional, 18, 123 p.
- Mégard, F. (1979). Estudio Geológico de los Andes del Perú Central. *Boletín del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico*, 8(D), 248 p.
- Mégard, F., Noble, D. C., McKee, E. H. y Bellon, H. (1984). Multiple pulses of Neogene compressive deformation in the Ayacucho intermontane basin, Andes of central Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 95, 1108-1117.



- Navarro-Ramírez, J. P., Bodin, S., Heimhofer, U. e Immenhauser, A. (2015). Record of Albian to early Cenomanian environmental perturbation in the eastern sub-equatorial Pacific. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 423, 122–137. doi:10.1016/j.palaeo.2015.01.025
- Navarro-Ramírez, J. P., Bodin, S. e Immenhauser, A. (2016). Ongoing Cenomanian – Turonian heterozoan carbonate production in the neritic settings of Peru. *Sedimentary Geology*, 331, 78-93. doi: 10.1016/j.sedgeo.2015.10.011
- Navarro-Ramírez, J. P. (2017). *Evolución sedimentológica y tectónica de las formaciones Jumasha-Celendín y su relación como rocas huéspedes de la faja de skarn polimetálico y de reemplazamiento en la cordillera central de Perú*. X Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, Lima, Perú, 4 p.
- Navarro-Ramírez, J. P., Bodin, S., Consorti, L. e Immenhauser, A. (2017). Response of western South American epeiric-neritic ecosystem to middle Cretaceous Oceanic Anoxic Events. *Cretaceous Research*, 75, 61–80. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2017.03.009>
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy* (2. Ed.). John Wiley & Sons, London, 335 p.
- Noble, D. C., McKee, E. H. y Mégard, F. (1979). Early Tertiary “Incaic” tectonism, uplift and volcanic activity, Andes of central Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 90, 903–907.
- Rivera, R. (1956). Fósiles Maestrichtianos de Pongo de Rentema, Amazonas. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 30(1), 323-327.

- Robert, E., Jaillard, E., Peybernes, B y Bulot, L. (2002). La transgresión albiana en la cuenca andina (Perú Central - Ecuador): modelo general y diacronismo de los depósitos marinos. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 94, 7-12.
- Robert, E., Latil, J. L. y Bulot, L. (2009). Albian ammonite faunas from South America: The genus *Tegoceras* HYATT, 1903. *Revue de Paléobiologie*, 28(1), 43–51.
- Romani, M. M. (1982). *Géologie de la région minière Uchucchacua-Hacienda Otuto Pérou*. [Tesis de doctorado, Université Scientifique et Médicale de Grenoble]. Repositorio del Ingemmet, 120 p.
- Romero, D. y Latorre, O. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Oyón (22-j) - Cuadrante II. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*, Perú, 20 p.
- Rosas, S. (2016). *Profundización sedimentaria solo en parte de la Cuenca Pucará (Perú Central) durante el Hetangiano–Sinemuriano*. XVIII Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú. Lima, Perú. 1-4.
- Ruegg, W. (1947). Estratigrafía Comparada del Oriente Peruano. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 20, 57-100.
- Scherrenberg, A. F., Kohn, B. P., Holcombe, R. J. y Rosenbaum, G. (2016). Thermotectonic history of the Marañón Fold–Thrust Belt, Peru: Insights into mineralisation in an evolving orogen. *Tectonophysics*, 667, 16–36. doi:10.1016/j.tecto.2015.11.007

- Scholle, P. A. (1978). A Color Illustrated Guide to Carbonate Rock Constituents, Textures, Cements, and Porosities. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 27*, 241 p.
- Scholle, P. A. y Ulmer-Scholle, D. S. (2003). A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 77*, 459 p.
- Soler, P. y Bonhomme, M.G. (1990). Relations of magmatic activity to plate dynamics in Central Peru from late Cretaceous to present. *Geological Society of America Special Paper*, 241, 173–192.
- Steinmann, G. (1929). Geologie von Peru. *Carl Winters*, Heidelberg, 448 p.
- Trzcíński, J., Williams, D. y Żbik, M. (2015). Can hydrocarbon contamination influence clay soil grain size composition?. *Applied Clay Science*. 109-110, 49-54.
- Wilson, J. J. (1963). Cretaceous Stratigraphy of Central Andes of Peru. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 47, 1-34.