

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“FACIES Y GEOQUIMICA DE ROCAS CARBONATADAS DEL JURASICO
INFERIOR-MEDIO DE LA CUENCA DE AREQUIPA EN EL DEPARTAMENTO
DE TACNA: PALEO GEOGRAFIA Y GEODINAMICA”**

TESIS

Presentada por:

YENY ELIZABETH QUISPE PACCO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

PUNO-PERU

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA

**“FACIES Y GEOQUIMICA DE ROCAS CARBONATADAS DEL JURASICO
 INFERIOR-MEDIO DE LA CUENCA DE AREQUIPA EN EL DEPARTAMENTO
 DE TACNA: PALEOGEOGRAFIA Y GEODINAMICA”**

TESIS PRESENTADA:

YENY ELIZABETH QUISPE PACCO

A la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica y
 Metalúrgica, Escuela Profesional de ingeniería Geológica, como requisito para
 optar el Título Profesional de: INGENIERO GEÓLOGO

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

Nombre

Firma

Presidente : Dr. Rolando Apaza Campos

.....

Primer miembro : M.Sc. E. Samuel Machacca Hanco

.....

Segundo miembro : Ing. Luis Ortiz Gallegos

.....

Director de Tesis : M.Sc. Leonel Palomino Ascencio

.....

Asesor de Tesis : M.Sc. Miguel E. Calcina Benique

.....

AREA: Geología Regional.

TEMA: Facies y Geoquímica en rocas carbonatadas.

DEDICATORIA

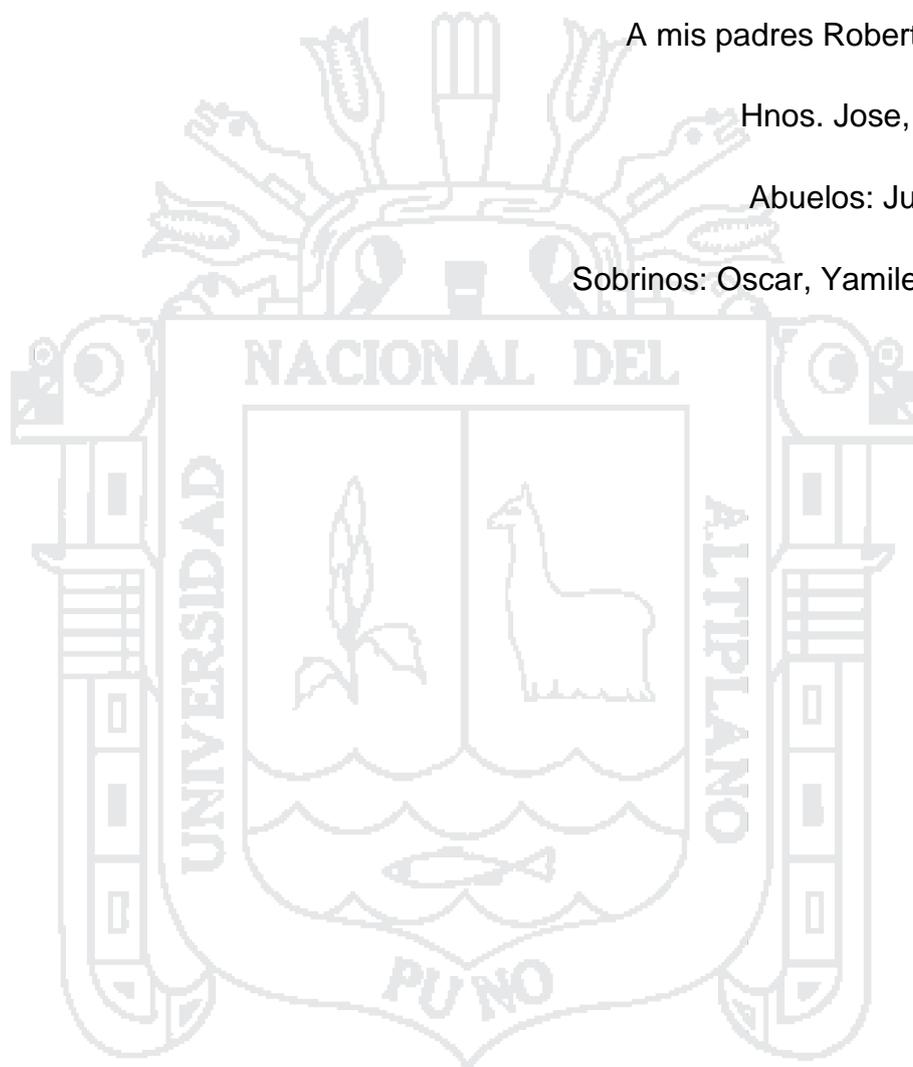
Al Señor Dios, por guiarme día a día

A mis padres Roberto y Agripina

Hnos. Jose, Wilbert, Luz

Abuelos: Julián y Juana

Sobrinos: Oscar, Yamileth y Jhosely



«Los sedimentos carbonaticos nacen, no se hacen» (James, 1979).

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis para optar el título profesional fue llevada a cabo en la Dirección de Geología Regional del Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET), en el proyecto GR41A: "Geología de la Cuenca Sedimentaria Peruana Occidental entre 15° y 18°" Agradezco al Ing. Pedro Navarro Colque por las facilidades brindadas para el desarrollo de la presente tesis. Al Dr. Aldo Alvan de la Cruz por transmitir sus conocimientos en las campañas de campo y gabinete. Agradezco también al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT, Perú) por el beneficio del Convenio N° 216-2015, del cual enmarcó esta tesis.

Agradezco al M.Sc. Miguel E. Calcina Benique asesor académico de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA), por las sugerencias y el apoyo moral para la culminación de esta tesis.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ing. Geológica UNA-PUNO, por haberme impartido los primeros conocimientos y las enseñanzas en mi formación universitaria.

Un reconocimiento y agradecimiento a Elvis Sánchez, Alexandra Benites y Juan Pablo Navarro por sus conocimientos transmitidos en campo, además de las sugerencias y recomendaciones ayudaron en el desarrollo de la presente tesis.

A Baclimer Quispe Yanapa por su apoyo incondicional y comprensión.

Agradecer por el apoyo moral a cada miembro de mi familia por su entusiasmo y recomendaciones. A mis amigos Gabriela Ramos, Edit Iquiapaza, Inés Trinidad y Sandra Tica.

Finalmente, a todas aquellas personas, que de una u otra manera contribuyeron para la realización de este estudio.

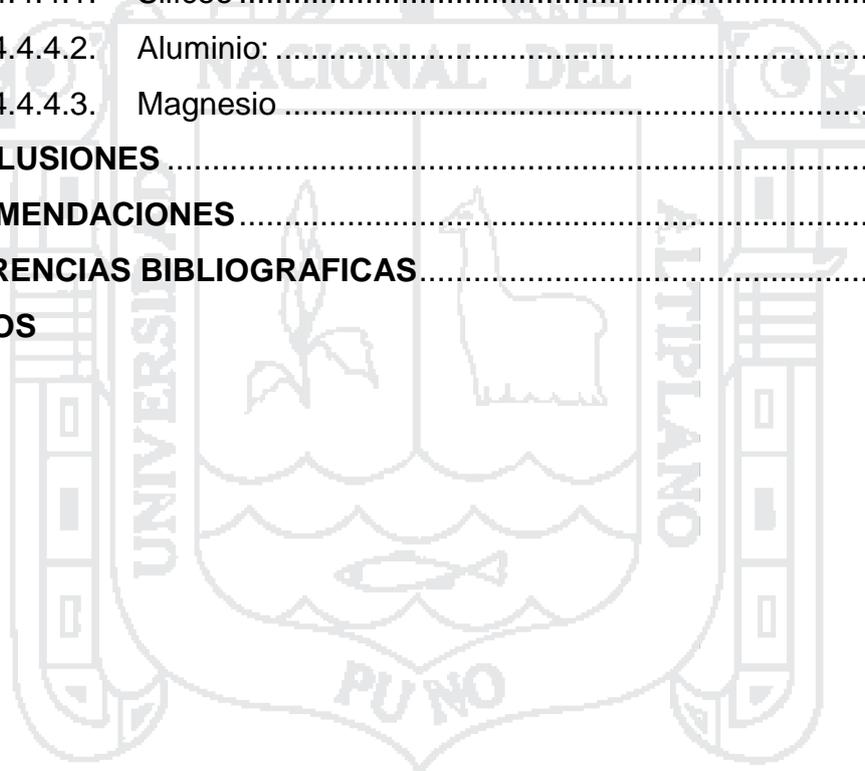
INDICE

Dedicatoria.....	III
Agradecimientos.....	IV
Lista de figuras	IX
Lista de tablas.....	XI
Lista de cuadros.....	XI
Lista de siglas y abreviaturas.....	XI
Resumen.....	XII
Abstrac.....	XIII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. Problemas	1
1.1.2. Formulación del problema	2
1.2. HIPÓTESIS.....	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	3
1.4.1. Etapa Gabinete I: Pre-campo.....	4
1.4.2. Etapa de Campo: Campo	4
1.4.3. Etapa Gabinete II: Post-campo.....	4
1.5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPITULO II: MARCO TÉORICO.....	7
2.1. CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL.....	7
2.1.1. Contexto litoestratigráfico de la Cuenca Arequipa.....	7
2.1.1.1. Formación Chocolate (Triásico superior-Hettangiano).....	8
2.1.1.2. Formación Pelado (Sinemuriano al Pliensbachiano).	9
2.1.1.3. Formación Socosani (Toarciano-Bathoniano).....	10
2.1.1.4. Grupo Yura (Jurásico superior-Cretácico inferior).....	10
A. Formación Puente (Calloviano inferior).....	10

B.	Formación Cachíos (Calloviano Superior).....	11
C.	Formación Labra (Oxfordiano al Kimmeridgiano).....	11
D.	Formación Gramadal (Tithoniano)	11
E.	Formación Hualhuani (Berriasiano –Valanginiano?)	12
2.2.	ANTECEDENTES.....	13
2.3.	FACIES SEDIMENTARIAS.....	14
2.3.1.	Análisis de microfacies en rocas carbonatadas.....	15
2.3.2.	Tipos de Microfacies Estándar (SMF por sus siglas en inglés)	16
2.4.	PLATAFORMAS CARBONATADAS.....	20
2.4.1.	Tipos de Plataforma Carbonatada:.....	20
2.5.	GEOQUÍMICA.....	23
2.5.1.	Componentes principales de los carbonatos.....	23
2.5.2.	Elementos Trazas.....	23
2.6.	PETROGRAFÍA EN ROCAS CARBONATADAS	24
2.6.1.	Granos Carbonatados (Aloquemos o Aloquímicos).....	24
2.6.1.1.	Bioclastos (granos esqueléticos, fósiles)	24
2.6.2.	Granos agregados.....	27
2.6.3.	Intraclastos	28
2.6.4.	Extraclastos.....	28
2.6.5.	Partículas Terrígenas:	29
2.6.6.	Clases de texturas depositacionales	29
CAPITULO III: CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE INVESTIGACIÓN		32
3.1.	ASPECTOS GENERALES DE LOCALIZACIÓN	32
3.2.	CONDICIONES CLIMATICAS	33
3.2.1.	Clima y Vegetación.....	33
3.3.	MARCO GEOMORFOLOGICO	35
3.3.1.	Planicies Costaneras.....	35
3.3.2.	Cordillera Occidental	35
3.4.	CONTEXTO GEOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO.....	36
3.4.1.	FORMACIÓN PELADO (Sinemuriano – Pliensbachiano).	36
3.4.2.	FORMACION SOCOSANI (Toarciano-Bathoniano).	39

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	41
4.1. ANÁLISIS DE FACIES	44
4.1.1. Sector Quebrada Tocuco, Pachía	44
4.1.1.1. Facies Q de <i>Wackestone - Mudstone</i>	44
A. Petrografía:	45
4.1.1.2. Facies R de Limolitas - Margas - <i>Wackestone</i>	47
A. Petrografía:	47
4.1.1.3. Facies S de <i>Wackestone</i>	48
4.1.1.4. Facies T de Limolitas - Lutitas:	49
A. Petrografía:	50
4.1.2. Sector Cerró Pelado, Palca:	53
4.1.2.1. Facies H de <i>Packstone – Mudstone</i>	54
4.1.2.2. Facies I de <i>Mudstone – Wackestone - Packstone</i>	54
4.1.2.3. Facies G de <i>Floatstone – Rudstone - Mudstone</i>	55
4.1.2.4. Facies A de Lutitas – Limolitas	56
4.1.2.5. Facies B de <i>Wackestone</i>	56
A. Petrografía:	57
4.1.2.6. Facies C de <i>Wackestone – Mudstone</i>	58
4.1.2.7. Facies D de <i>Wackestone – Mudstone</i> nódular.....	59
4.1.2.8. Facies E de <i>Mudstone</i>	59
4.1.2.9. Facies F de <i>Wackestone - Mudstone</i>	60
4.1.3. Sector Quebrada Ammos, Palca	62
4.1.3.1. Facies F de <i>Wackestone – Mudstone</i>	63
4.1.3.2. Facies G de <i>Floatstone – Wackestone – Packstone</i>	64
A. Petrografía:	64
4.1.4. Sector Quebrada Palquilla, Palquilla	67
4.1.4.1. Facies J de Limolitas calcáreas – <i>Packstone</i>	67
A. Petrografía:	68
4.1.4.2. Facies K de Margas – <i>Packstone – Limolitas</i> calcáreas	69
4.1.4.3. Facies G de <i>Floatstone – Packstone</i>	70
A. Petrografía:	70
4.2. CORRELACIÓN DE FACIES	73
4.3. MODELOS E INTERPRETACIÓN DE FACIES	75

4.3.1.	Sector Quebrada Tocuco, Pachía	75
4.3.2.	Sector Cerro Pelado, Palca	75
4.3.3.	Sector Quebrada Ammos, Palca	76
4.3.4.	Sector Quebrada Palquilla, Palquilla	77
4.4.	GEOQUÍMICA.....	79
4.4.1.	Geoquímica de las rocas carbonatadas	79
4.4.2.	Ubicación de muestras recolectadas.....	79
4.4.3.	Geoquímica de Elementos Trazas	84
4.4.3.1.	Ambiente de Deposición	84
4.4.4.	Geoquímica de Elementos Mayores.....	84
4.4.4.1.	Silíceo	84
4.4.4.2.	Aluminio:	86
4.4.4.3.	Magnesio	87
CONCLUSIONES		89
RECOMENDACIONES		91
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		92
ANEXOS		



LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Afloramientos de rocas Jurásicas (Fm. Chocolate, Fm. Pelado, Fm. Socosani, Grupo Yura) (fuente: INGEMMET)	8
Figura 2:	Afloramiento de la Formación Chocolate, en el Cerro Palquilla.....	9
Figura 3:	Columna estratigráfica de la quebrada Chachacumane.....	12
Figura 4:	Comparaciones estratigráficas de la Cuenca Arequipa en el departamento Tacna.....	13
Figura.5:	Ambientes de depositación generalizados de una plataforma carbonatada	16
Figura 6:	Plataformas carbonatadas, esquemas de las categorías.....	20
Figura 7:	Modelo de deposición de una rampa carbonatada.....	21
Figura 8:	Tipos de plataformas carbonatadas de acuerdo a su pendiente.....	22
Figura 9:	Aspecto en sección delgada de algunos organismos frecuentes en los carbonatos de plataforma	25
Figura 10:	Visualización de la clasificación de texturas depositacionales de Dunham (1962) y modificada por Hallsworth & Knox (1999), Dunham (1962), y Embry & Klovan (1971).....	29
Figura 11:	Mapa de ubicación y accesibilidad de la zona de estudio.....	34
Figura 12:	Dominios geomorfológicos y los principales sistemas de fallas en el Sur del Perú	36
Figura 13:	Mapa y sección geológico del sector “Cerro Pelado”	38
Figura 14:	Mapa y sección geológico del sector “Quebrada Tocuco”	40
Figura 15:	Mapa de ubicación de columnas estratigráficas.....	43
Figura 16:	Vista al suroeste de la sección “Quebrada Tocuco”.....	44
Figura 17:	Facies “Q”. A) Foto de afloramiento de la facies “Q”	45
Figura 18:	<i>Mudstone</i> con bioclastos de crinoideos, minerales opacos	45
Figura 19:	A) <i>Grainstone</i> con crinoideos. B) <i>Grainstone</i> con foraminíferos y crinoideos.....	46
Figura 20:	A) <i>Mudstone</i> con crinoideos.....	46
Figura 21:	Foto de afloramiento de la facies “R”	47
Figura 22:	<i>Grainstone</i> : con crinoideos.....	48
Figura 23:	Detalle de crinoideo inmerso en la matriz, de dimensión 0.116mm de diámetro.....	48
Figura 24:	Foto de afloramiento de la facies “S”	49
Figura 25:	Foto de afloramiento de la facies “T”	50
Figura 26:	<i>Wackestone</i> de crinoideo, se muestra venas compuesto de calcita recristalizada	51
Figura 27:	Columna estratigráfica del sector “Quebrada Tocuco”.....	52
Figura 28:	Vista al sur de los afloramientos del “Cerro Pelado”	53
Figura 29:	Foto de afloramiento de la facies “H”	54
Figura 30:	Foto de afloramiento de la facies “I”	55
Figura 31:	A) y B). Vista del afloramiento en situ de las facies “G”	55
Figura 32:	Foto de afloramiento de la facies “A”	56

Figura 33: Foto de afloramiento de la facies "B"	57
Figura 34: <i>Packstone</i> bioclástico, vistas de la muestra GR41A-15-183.....	57
Figura 35: <i>Packstone</i> bioclástico, vistas de la muestra GR41A-15-184.....	58
Figura 36: Foto de afloramiento de la facies "C".....	58
Figura 37: Foto de afloramiento de la facies "D"	59
Figura 38: Foto de afloramiento de la facies "E"	60
Figura 39: Vista del afloramiento de la Facies "F".....	60
Figura 40: Columna estratigráfica del sector "Cerro Pelado".....	61
Figura 41: Vista al noroeste de la sección "Quebrada Ammos"	63
Figura 42: A) Vista de afloramiento de la facies "F"	63
Figura 43: Foto de afloramiento de la facies "G"	64
Figura 44: <i>Packstone</i> con ostrácodos inmerso en la matriz	65
Figura 45: <i>Packstone</i> con bioclastos de calcíesferas y bivalvos.....	65
Figura 46: <i>Packstone</i> con bioclastos de ostrácodos, calcíesferas inmerso en la matriz (Muestra GR41A-15-220).....	66
Figura 47: Columna estratigráfica del sector "Quebrada Ammos".....	66
Figura 48: Vista al noreste de la sección "Quebrada Palquilla".....	67
Figura 49: Foto de afloramiento de las facies "J".....	68
Figura 50: <i>Packstone</i> bioclástico de bivalvos pelágicos, calcíesferas y ostrácodos inmersos en la matriz.....	68
Figura 51: <i>Packstone</i> bioclástico de textura espática, diferentes vistas de la muestra GR41A-15-237.....	69
Figura 52: Foto de afloramiento de la facies "K"	69
Figura 53: Vista del afloramiento in situ de las facies "G".....	70
Figura 54: <i>Packstone</i> bioclástico muestra GR41A-15-230.....	71
Figura 55: <i>Floatstone</i> bioclástico, muestra GR41A-15-233	71
Figura 56: <i>Grainstone</i> bioclástico muestra GR41A-15-242.....	72
Figura 57: Columna estratigráfica del sector "Quebrada Palquilla".....	72
Figura 58: Correlación de facies "G" y "F" de la Unidad "A".....	74
Figura 59: Distribución esquemática de las facies carbonatadas de la Unidad "A" y la Unidad "B"	78
Figura 60: Esquema de modelo depositacional de las Unidades "A" y "B"	78
Figura 61: Ubicación de muestras recolectadas para análisis geoquímico en secciones estratigráficas.....	80
Figura 62: Ubicación de muestras recolectadas para análisis geoquímico.....	81
Figura 63: Relación V/Cr vs. Ni/Co, discriminación de condiciones redox....	84
Figura 64: Diagrama bivalente SiO ₂ -Ca para muestras de este estudio	85
Figura 65: Diagrama bivalente SiO ₂ -Al ₂ O ₃ para muestras de este estudio...85	85
Figura 66: Diagrama bivalente CaO-K ₂ O para muestras de este estudio.....	86
Figura 67: Diagrama bivalente Si ₂ O vs MgO de las muestras de este estudio..88	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de microfacies estándar basados en Wilson (1975) y Flugel (1972, 1982).....	19
---	----

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Ruta de Acceso.....	33
Cuadro 2: Resumen y principales características de las facies identificadas en “Quebrada Tocuco” de la Unidad “B”.....	53
Cuadro 3: Resumen y principales características de las Facies identificadas en “Cerro Pelado” de la Unidad “A”.....	62
Cuadro 4: Resumen y principales características de las Facies identificadas en “Quebrada Ammos” de la Unidad “A”.....	67
Cuadro 5: Resumen y principales características de las Facies identificadas en “Quebrada Palquilla” de la Unidad “A”.....	73
Cuadro 6: Concentración de elementos mayores (% en peso) de muestras colectadas.....	82
Cuadro 7: Concentración de elementos trazas (ppm) de las muestras recolectadas.....	83

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

- **INGEMMET:** Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- **USA:** Sistema de Fallas Urcos Sicuani-Ayaviri
- **CLM:** Sistema de Falla Cabanillas-Mañazo.
- **SMF:** Standard Microfacies Types.
- **ICP-MS:** Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.
- **USA:** United State of America.
- **UTM:** Universal Transverse Mercator.
- **WGS 84:** World Geodetic System 1984.

RESUMEN

En esta tesis se muestran los resultados del análisis de facies carbonatadas de calizas jurásicas que afloran en el extremo sur de Perú, basado en estudios petrográficos y de geoquímica. El área de estudio abarca sitios puntuales localizados en los alrededores de los pueblos de Pachia, Palca y Palquilla comprendidos en los cuadrángulos de Pachía (36v) y Palca (36x) en el departamento de Tacna. El objetivo es describir la evolución sedimentológica durante el Jurásico inferior a Jurásico medio (~201-145 Ma) en las localidades mencionadas. El principal aporte se centra en la definición del ambiente depositacional de las formaciones Pelado y Socosani, el cual aportará al entendimiento de la paleogeografía de la Cuenca Arequipa en Tacna. En los trabajos de campo se obtuvieron 16 muestras para análisis de petrografía y 10 muestras para análisis geoquímico (elementos mayores y trazas). Asimismo, el levantamiento de 4 columnas estratigráficas en la(i) Quebrada Tocuco, Pachía, (ii) Quebrada Ammos; Palca, (iii) Cerro Pelado; Palca y(iv) Quebrada Palquilla; Palquilla. A través del análisis de facies (petrografía) se reconoció 15 facies carbonatadas, en la Formación Socosani 4 facies Q (*mudstone - wackestone*), R (limolitas – margas - *wackestone*), S (*wackestone*), T (limolitas - lutita) y para la formación Pelado 11 facies A (lutitas - limolitas), B (*wackestone*), C (*mudstone - wackestone*), D (*mudstone – wackestone* nódular), E (*mudstone*), F (*mudstone - wackestone*), G (*floatstone – rudstone - mudstone*), H (*packstone - mudstone*), I (*mudstone – wackestone - packstone*), J (limolitas calcáreas - *packstone*), K (margas - limolitas calcáreas - *packstone*), en base a características sedimentarias que indican fielmente que los ambientes depositacionales, en términos generales son marino somero con ligeras profundizaciones muy locales, es decir típicamente el de una plataforma carbonatada proximal a distal de margen activo. A través del análisis geoquímico se determinó que en los sectores de Quebrada Tocuco, Quebrada Palca y Cerro Palo hay un enriquecimiento de Si_2O y mientras que en la Quebrada Ammos y Cerro Palquilla se observa un enriquecimiento de CaO , indicándonos esto un cambio de facies en la plataforma carbonatada relacionado con etapa de profundización de la plataforma carbonatada. Dadas las características presentadas, la plataforma carbonatada que se ha formado en la mayor parte del Jurásico del departamento de Tacna es de tipo rampa.

Palabras claves: Plataforma carbonatada, Facies, Geoquímica.

Abstrac

This thesis shows the results of the analysis of carbonate facies of Jurassic limestones that emerge in the extreme south of Peru, based on petrographic and geochemistry studies. The study area covers specific sites located on the outskirts of the villages of Pachia, Palca and Palquilla included in the quadrangles of Pachía (36v) and Palca (36x) in the department of Tacna. The objective is to describe the sedimentological evolution during the early Jurassic to Middle Jurassic (~201-145 Ma) in the above mentioned localities. The main contribution is focused on the definition of the environment depositional of Pelado and Socosani formations. This will contribute to the understanding of the paleogeography of the Arequipa basin in Tacna. In the field work 16 samples were obtained for petrography analysis and 10 samples for geochemical analysis (major elements and traces). Also, the lifting of 4 stratigraphic columns in the (i) Quebrada Tocuco, Pachia, (ii) Quebrada Ammos; Palca, (iii) Cerro Pelado; Palca and (iv) Quebrada Palquilla; Palquilla. Through the analysis of facies (petrography) was recognized 15 carbonate facies, in the training Socosani 4 facies Q (mudstone - wackestone), R (limolitas – margas - wackestone), S (wackestone), T (limolitas - lutita) y para la formación Pelado 11 facies A (lutitas - limolitas), B (wackestone), C (mudstone - wackestone), D (mudstone – wackestone nódular), E (mudstone), F (mudstone - wackestone), G (floatstone – rudstone - mudstone), H (packstone - mudstone), I (mudstone –wackestone - packstone), J (limolitas calcáreas - packstone), K (margas - limolitas calcáreas - packstone), based on sedimentary characteristics that exactly indicate that deposition, in general environments are marine shallow with light very local in-depth. It's typically tell of a carbonate platform proximal to distal active margin. Through geochemical analysis it was determined that in the sectors of Quebrada Tocuco, Quebrada Palca and Cerro Palo there is an enrichment of Si_2O and while in the Quebrada Ammos and Cerro Palquilla it is noted CaO enrichment, indicating this in the carbonate platform facies change associated with stage of deepening of the carbonate platform. Given the characteristics presented, the carbonated platform that has been formed in most of the Jurassic of the department of Tacna is of ramp type.

Key words: *carbonate platform Facies, geochemistry.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES

Este trabajo de tesis se basa en el análisis de facies carbonatadas, las cuales están basadas en estudios petrográficos al microscopio, complementados con observaciones en las muestras de mano, y complementados con estudios de geoquímica en rocas carbonatadas. Mediante estos estudios se busca la definición de los ambientes depositacionales de las rocas carbonatadas jurásicas que afloran en el departamento de Tacna, sur de Perú (18°S). Los resultados aportan en el entendimiento de la evolución sedimentaria de la Cuenca mesozoica Arequipa, la cual comprende rocas carbonatadas con edades que varían desde el Jurásico inferior al Jurásico medio (~201-145 Ma). Estas rocas afloran específicamente en el departamento de Tacna (alrededores de los pueblos de Pachía, Palca y Palquilla) (Figura 3.1). Tales rocas carbonatadas corresponden a la Formación Pelado y a la Formación Socosani, las cuales fueron cartografiados por Wilson & Garcia (1962) y posteriormente actualizadas por Monge & Cervantes (2000).

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Problemas

Se cuenta con trabajos dedicados a la definición de la cronoestratigrafía de rocas carbonatadas triásicas y jurásicas de la Cuenca sedimentaria Pucara (Prinz, 1985; Rosas et al., 2007), en el centro de Perú, los cuales afirman que las rocas sedimentarias más antiguas de esta cuenca se tratan de calizas triásicas depositadas en un margen pasivo durante una apertura de cuenca (tipo rift).

Se cree que, de modo análogo, la Cuenca sedimentaria Arequipa se formó en un estilo estructural similar (tipo rift, Sempere et al., 2002; Pino et al., 2004). Sin embargo, aún se tiene incertidumbre en lo que se conoce sobre el desarrollo de las plataformas carbonatadas que han existido en el Jurásico del sur de Perú, debido a que cada sector donde afloran calizas, refleja un comportamiento estructural diferente.

A pesar que se cuenta con muy buenos estudios previos de sedimentología y análisis de cuencas sedimentarias de rocas carbonatadas en el sur de Perú (por ejemplo, Salinas, 1985) y trabajos en análisis de geodinámica de cuencas sedimentarias en Tacna (por ejemplo, Pino et al., 2004; Jacay & Sempere, 2002), el origen y la paleogeografía de la Cuenca Arequipa durante el Jurásico inferior y Jurásico medio sigue en intenso debate.

Según estudios previos, las rocas carbonatadas que fueron depositadas en Tacna durante el inicio del Jurásico, corresponden a ambientes marinos someros, en contraste a lo afirmado por Salinas (1985) el cual menciona que las rocas del Jurásico inferior a medio se depositaron en aguas someras con biohermas y con transiciones a facies de profundidad. Esta tesis presenta argumentos para sustentar esta afirmación. Es de esperar que estos argumentos se apoyen también de otros proxies en la geología, tales como tipo de volcanismo, mineralogía de los componentes detríticos en las rocas carbonatadas y aproximaciones en la paleobatimetría provista por ammonites colectados en la zona de estudios (Wittman, 2001, Benites *En prep.*). El primer paso para la resolución de estos problemas es estudiar las facies sedimentarias y representarlas por códigos de facies.

1.1.2. Formulación del problema

Planteados los problemas, se puede formular las siguientes interrogantes:

- ¿Qué tipo de información nos puede ofrecer los análisis petrográficos y geoquímicos de las rocas carbonatadas jurásicas de Tacna?
- ¿Cómo pueden usarse los estudios de facies carbonatadas en la elaboración de mapas paleogeográficos?

- ¿El estudio de facies en rocas carbonatadas puede aclarar la interpretación entre la estratigrafía secuencial y la depositación de las plataformas carbonatadas en Tacna?

1.2. HIPÓTESIS

Las rocas carbonatadas jurásicas que fueron depositadas en Tacna, representadas por las formaciones Pelado y Socosani se depositaron en una extensa plataforma carbonatada muy somera que está localizado en el sur del Perú (Cuenca de Arequipa, Tacna) y que existió una etapa de continua expansión de cuenca o subsidencia en el Toarciano. La combinación de un estudio detallado de facies y geoquímica en rocas carbonatadas da a conocer la interacción de la geodinámica y la depositación de la plataforma carbonatada de la parte sur en la Cuenca Arequipa, cuya paleogeografía aún no está muy conocida.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Reconstruir el ambiente depositacional de la plataforma del Jurásico inferior y Jurásico medio (Formación Pelado y Formación Socosani respectivamente), mediante el estudio de facies y geoquímica en rocas carbonatadas de la Cuenca de Arequipa en Tacna, su significado paleogeográfico y geodinámica ocurrida en mencionado intervalo de tiempo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las facies en rocas carbonatadas del Jurásico en Tacna, apoyado con estudios de petrografía con la determinación de sus constituyentes (ortoquímicos y aloquímicos).
- Fortalecer el estudio de análisis de facies sedimentarias con estudios geoquímicos aplicadas a rocas carbonatadas, con la finalidad de explicar la variedad que existe en la composición química a lo largo de las sucesiones.

1.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Las etapas serán descritas en tres partes:

1.4.1. Etapa Gabinete I: Pre-campo

- Recopilación y consulta de estudios anteriores en contexto local y regional relativo al presente trabajo de investigación (estratigrafía, geología regional, geoquímica de rocas carbonatadas).
- Fotointerpretación de imágenes aéreas, imágenes satelitales (mapa de isópacos).

1.4.2. Etapa de Campo: Campo

- En los trabajos de campo se realizó cartografiado geológico para el reconocimiento de las unidades litoestratigráficas carbonatadas con sus respectivas columnas estratigráficas al detalle, seguido del muestreo sistemático en rocas carbonatadas, en su mayoría, las más frescas posibles. Esto se realizó en los mejores afloramientos y más extensos hallados en los cuadrángulos de Pachía (36v) y Palca (36x), departamento de Tacna.
- Se realizó la colecta de muestras en su respectivo control estratigráfico, teniendo especial atención a las formaciones Pelado y Socosani. Cada muestra se señaló con un código que hace mención al código de proyecto, al año de colecta y al correlativo de número de muestra (INGEMMET, 2015).

1.4.3. Etapa Gabinete II: Post-campo

- Dentro de los trabajos realizados en Gabinete II se incluye análisis petrográfico y geoquímico de las muestras colectadas durante la campaña de campo previa, así como el análisis de facies carbonatadas, interpretación respectiva y análisis de las columnas estratigráficas levantadas en campo. Las sucesiones sedimentarias han sido registradas en las columnas estratigráficas y fueron definidas en términos de análisis de facies. Finalmente se propone un ambiente depositacional de las plataformas carbonatadas jurásicas en Tacna, el cual es el principal objetivo de esta tesis.

1.5. MATERIALES Y MÉTODOS

Para iniciar los estudios de facies carbonatadas se aplicó el uso de la petrografía al microscopio, del cual se completó 16 secciones delgadas de rocas carbonatadas (calizas y margas) atribuidas a las formaciones Pelado y Socosani. El estudio petrográfico se realizó con un microscopio marca Leica, trabajando con los objetivos 50x, 20x, 10x y 2.5x con la finalidad de determinar los

componentes aloquímicos y ortoquímicos de las rocas carbonatadas. Para la caracterización de facies se siguieron los criterios de Folk (1962) y Dunham (1962).

Una vez definidas las facies se plantea el ambiente depositacional correspondientes para cada columna estratigráfica estudiada. En complemento, se han realizado 10 análisis químicos de rocas carbonatadas (calizas y margas) realizados en el laboratorio del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), han sido analizados por el método analítico ICP-MS (espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente), teniendo como resultado 52 elementos (entre elementos mayores, traza y tierras raras) para analizar las firmas geoquímicas más adecuadas para este estudio.

Estudio geoquímico consistió en el análisis de los elementos mayores y trazas. Para esto, el procesamiento de datos se dio en base al recalcado de 100% para los elementos mayores. Por otro lado, para la elaboración del mapa geológico, se utilizó el Software Arc Gis v. 10.3. Finalmente, para la digitalización de columnas estratigráficas se utilizó el software Adobe Illustrator v. CS6. En el ordenamiento de la base de datos de campo y geoquímicos se utilizó el programa Microsoft Excel y IgPet.

1.6. JUSTIFICACIÓN

El estudio petrográfico y geoquímico de las rocas carbonatadas mesozoicas que afloran en el departamento de Tacna aportará significantes claves para entender la evolución geodinámica de la Cuenca de Arequipa durante el Jurásico.

Hasta la fecha, han sido pocos los estudios publicados sobre las rocas carbonatadas de las formaciones Pelado y Socosani en el departamento de Tacna. Sin embargo, tales trabajos dieron luces importantes sobre la paleogeografía, por ejemplo León (1981) y Pino et al. (2004), quienes hacen referencia que durante el Jurásico inferior a Jurásico medio en Tacna se desarrollaron extensas "plataformas carbonatadas"; sin embargo, aún no se trata con más detalle esbozos sobre las facies estándares integradas, las cuales se proponen en esta tesis que deban ser integradas a los resultados de la geoquímica de rocas carbonatadas. En consecuencia, esta integración resultará ser una pieza fundamental para el entendimiento de la paleogeografía del

Jurásico. De este modo, esta tesis caracteriza las rocas carbonatadas en términos de facies y geoquímica, y a la vez, detalla claramente sus variaciones. Los resultados de esta tesis ayudarán a entender la geometría arquitectural de la Cuenca Arequipa en Tacna.



CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL

2.1.1. Contexto litoestratigráfico de la Cuenca Arequipa

La Cuenca Arequipa está representada por rocas de edad Mesozoico (Jurásico), y corresponde a la parte meridional de la Cuenca Occidental Peruana. La Cuenca Arequipa ha sido estudiada por Jenks (1948), Benavides (1962), Vicente et al. (1982), Vicente (1981), en las rocas jurásicas del departamento de Arequipa, mientras que Wilson & García (1962), Monge & Cervantes (2000), y Acosta et al., (2011) se centraron en la formulación y actualización de la nomenclatura estratigráfica mesozoica y cenozoica de Tacna (Figura 2.4). Según estos autores, el relleno sedimentario de la Cuenca Arequipa en Tacna empieza por una secuencia volcánica (Fm. Junerata/Fm. Chocolate), seguido de secuencias carbonatadas (Fm. Pelado y Fm. Socosani) y finalmente seguido por una potente secuencia principalmente siliciclástica (Grupo Yura). Según Carlotto et al. (2009), la Cuenca Arequipa estuvo limitada al noreste por el alto estructural Cusco-Puno y al norte por el alto Totos-Paras (Figura 1). Para esta tesis se utiliza la nomenclatura de Monge & Cervantes (2000) donde se reemplaza a la Formación San Francisco por la Formación Socosani (Figura 3). A continuación, se describen la relación de contacto y litología de la Cuenca Arequipa.

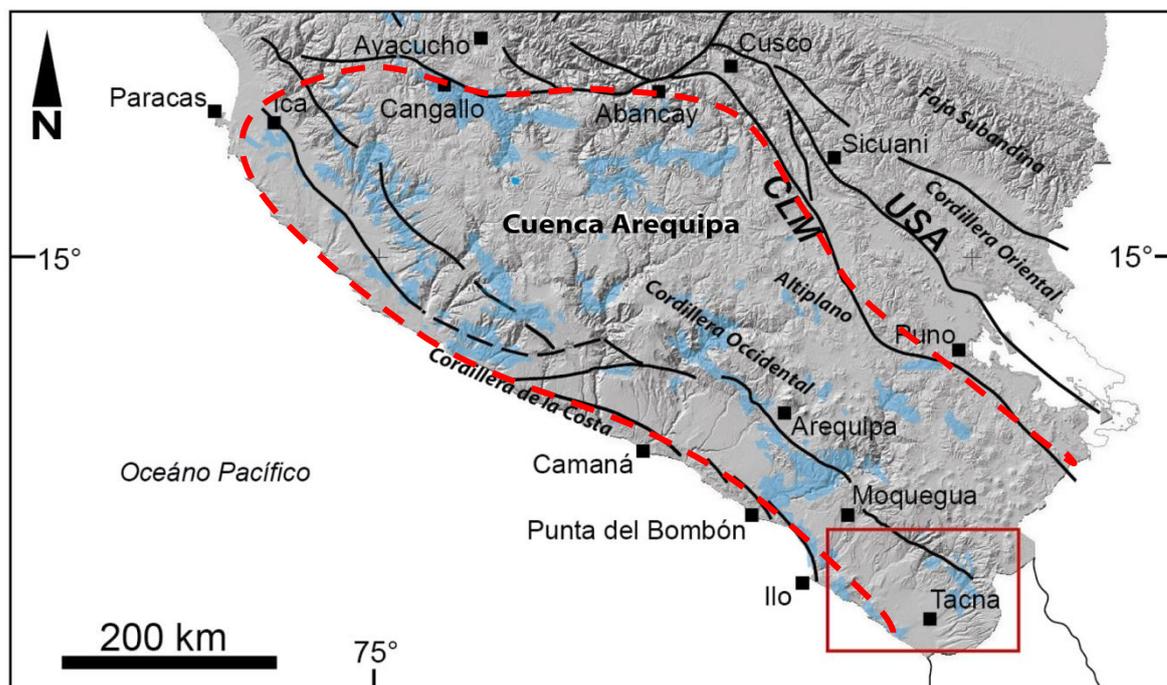


Figura 1: Afloramientos de rocas Jurásicas en color celeste (Fm. Chocolate, Fm. Pelado, Fm. Socosani, Grupo Yura) (fuente: **INGEMMET**). En líneas rojas entrecortadas indica la extensión de la Cuenca Arequipa. El cuadro rojo indica el área de estudio. **CLM**= Sistema de Falla Cabanillas-Mañazo, **USA**= Sistema de Fallas Urcos Sicuani-Ayaviri (modificado de Fernandez-López et al., 2014).

2.1.1.1. Formación Chocolate (Triásico superior-Hettangiano)

La Formación Chocolate fue definida originalmente por Jenks (1948), en la cantera de Chocolate ~20 km al noroeste de la ciudad de Arequipa, lo cual está compuesta por andesitas, basaltos, traquitas; tobas y aglomerados con algunas intercalaciones de arcillitas, cuarcitas, calizas y arrecifes calcáreos, teniendo todas una típica coloración “chocolate”. En Tacna, Wilson & García (1962), describen rocas volcánicas que habían sido denominadas como Formación Junerata (Cerro Junerata) y encima sucesiones de conglomerados y areniscas que terminan en calizas denominadas como Formación Pelado (Cerro Pelado hojas 36x3 y 36x4 de Palca, Tacna).

Las últimas revisiones por parte del INGEMMET demuestran que la parte superior del Cerro Junerata corresponden a rocas volcánicas del Grupo Toquepala (Cretácico) por tal motivo, se hace mención de estas variedades, tal como lo observado por Monge & Cervantes (2000) y Acosta et al., 2011. La Formación Chocolate también ha sido observada en los alrededores de Palquilla (Cerro Palquilla) y Palca (Cerro Pelado). La litología de esta unidad en Tacna consiste en andesitas basálticas y dacitas de textura afanítica, ambas grises oscuras en estratos que varían desde 0,30 m a 4 m de espesor, con ocasionales

niveles sedimentarios (Figura 2). Esta unidad es sobreyacida por la Formación Pelado en contacto erosivo/discordante. En esta tesis se toma como base la estratigrafía propuesta por Monge & Cervantes (2000).



Figura 2: Afloramiento de rocas andesitas de la Formación Chocolate, en el Cerro Palquilla, Palquilla.

2.1.1.2. Formación Pelado (Sinemuriano al Pliensbachiano)

Denominado así por Wilson & García (1962) en el Cerro Pelado, describiendo una secuencia calcárea que aflora en el Cerro Pelado, siguiendo una dirección NO – SE. Monge & Cervantes (2000) describieron a esta unidad de la siguiente manera, en la base se observa limolitas calcáreas gris claras dispuestas en capas delgadas, con niveles de calizas silicificadas con presencia de fósiles, seguida de limolitas calcáreas gris oscuro en capas delgadas y fisibles intercalados con limolitas verdes en capas delgadas. Hacia la parte superior se tiene una intercalación de calizas gris oscura con limolitas oscuras en capas delgadas a medianas con presencia de fósiles. Posteriormente Acosta et al (2011), sugirieron discontinuar con el uso de la denominación de la Formación Pelado, por la “Unidad sedimentaria” de la Formación Chocolate superior por compartir los similares caracteres bioestratigráficos (ammonites en facies deltaicas) en toda la Cuenca Arequipa. Compuesta por conglomerados de clastos volcánicos en un matriz areno-limosa, intercalados con limolitas hacia la base, con ocasionales niveles de arcosas a areniscas cuarzosas hacia el tope, presentan laminaciones oblicuas y nódulos con ammonites. La relación

estratigráfica con la parte inferior de la sobreyacente Formación Socosani es concordante.

2.1.1.3. Formación Socosani (Toarciano-Bathoniano).

Estudiada originalmente en Yura, Arequipa como “Formación” por Jenks (1948) como calizas oscuras intercaladas con tufos en la parte inferior y lutitas en la parte superior. En Tacna, Wilson & García (1962) denominaron anteriormente a estas calizas como Formación San Francisco Monge & Cervantes (2000) y Acosta et al (2011), excluyeron la denominación de Formación San Francisco de Wilson & García (1962) y propuso el uso de “Formación Socosani”. Sobreyace a la Formación Chocolate en un contacto generalmente erosivo.

2.1.1.4. Grupo Yura (Jurásico superior-Cretácico inferior).

Definido en Yura, Arequipa, bajo la categoría de “Formación Yura” (Jenks 1948). Luego Benavides (1962) consideró dividir a esta formación en cinco miembros: Puente, Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani. Posteriormente Wilson & García (1962) elevan a esta unidad al rango de “Grupo”.

Vargas (1970) dividió al Grupo Yura tomando la nomenclatura asignada por Benavides (1962). Vicente (1981) consideró a estos miembros como formaciones. Finalmente Acosta et al. (2011) describe al Grupo Yura con las formaciones Puente, Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani en sucesiones cronológicamente continuas.

A. Formación Puente (Calloviano inferior)

Esta unidad tiene su estratotipo en Yura, Arequipa de acuerdo con Jenks (1948) y Benavides (1962). Similares a esta unidad fueron reconocidos por Wilson & García (1962) como Formación Ataspaca en Tacna. En Arequipa, la Formación Puente está constituida por cuarcitas blancas y arcosas en bancos gruesos y capas medianas intercaladas con capas delgadas de lutitas grises oscuras, mientras su equivalente en Tacna consiste mayoritariamente de areniscas lutitas negras potentes con capas delgadas de areniscas cuarzosas (Monge & Cervantes, 2000). Según estos autores, existe una correlación entre la Formación Ataspaca y las formaciones Puente, y posiblemente Cachíos, donde la Formación Puente correspondería a la parte inferior de la Formación Ataspaca. Esta unidad yace sobre la Formación Socosani.

B. Formación Cachíos (Calloviano Superior)

Según Wilson & García (1962) estas rocas se denominan como Formación Ataspaca, siendo su estratotipo ubicado en la Quebrada Ataspaca, Tacna. Esta unidad está constituida y caracterizada por lutitas negras en estratos gruesos y cuarcitas blancas en menor proporción. Monge & Cervantes (2000) y Acosta et al. (2011) propusieron correlaciones entre la Formación Ataspaca y las formaciones Puente y Cachíos de Arequipa, donde la Formación Puente correspondería a la parte inferior de la Formación Ataspaca. Esta unidad yace sobre la Formación Socosani (ex Fm. San Francisco de Wilson & García, 1962).

C. Formación Labra (Oxfordiano al Kimmeridgiano)

Wilson & García (1962) describieron a esta unidad como Formación Chachacumane en Tacna. Esta unidad yace en concordancia sobre la Formación Cachíos, y subyace igualmente en concordancia estratigráfica con la Formación Gramadal. Consiste en areniscas finas grises verdosas, cuarzosas y cuarzo-feldespáticas con laminaciones oblicuas, intercaladas con limolitas negras laminadas en similar proporción. Hacia el tope las capas de areniscas presentan paleocanales.

D. Formación Gramadal (Tithoniano)

Monge & Cervantes (2000) describieron estos afloramientos a lo largo del río Caplina (Palca). Se trata de una secuencia detrítico-pelítica, parcialmente calcárea, caracterizado por su gran contenido orgánico. Esta unidad sobreyace en concordancia con la Formación Labra, e infrayace de igual modo con la Formación Hualhuani. Está constituida de areniscas arcillosas de estratificación delgada intercalado con limolitas laminadas y calizas micríticas orgánicas grises oscuras organizadas en capas medianas a delgadas.

E. Formación Hualhuani (Berriasiano –Valanginiano?)

Ha sido descrita inicialmente como serie sedimentaria (“cuarcitas superiores del Grupo Yura” de Wilson & García, 1962). Denominado como formación por estos autores como Formación Chachacumane, la describen litológicamente como areniscas cuarzosas con ocasionales niveles de cuarcitas blanquecinas de grano medio y comúnmente con laminaciones oblicuas. En algunos niveles se observan intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas de las cuales no sobrepasan los 10 cm de espesor.

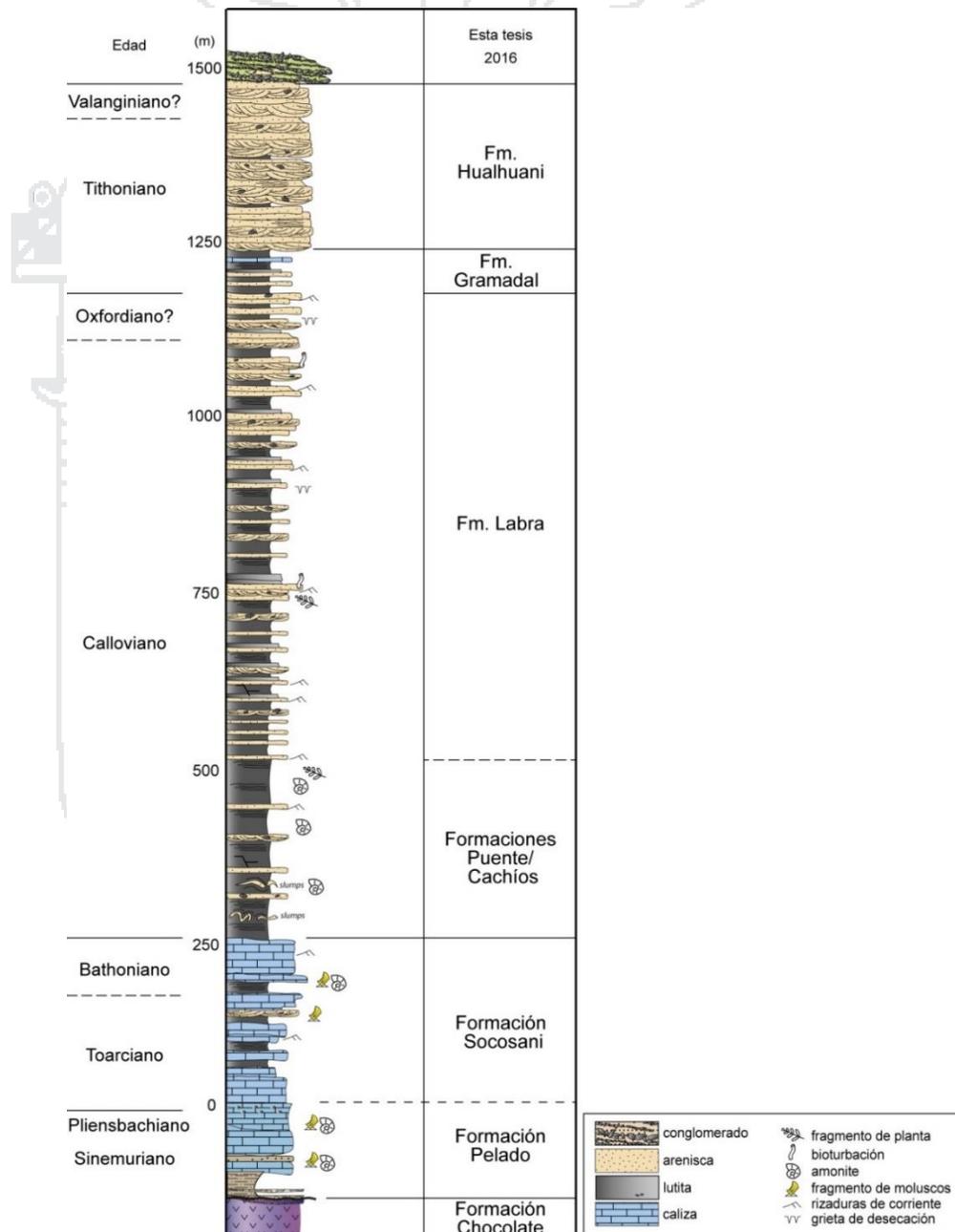


Figura 3: Columna estratigráfica de la quebrada Chachacumane (inicio en 402882E, 8035981N, UTM WGS81). Obsérvese las relaciones entre la nomenclatura estratigráfica de Wilson & García (1962) y Monge & Cervantes (2000), para esta tesis se consideró la nomenclatura propuesta por estos últimos autores.

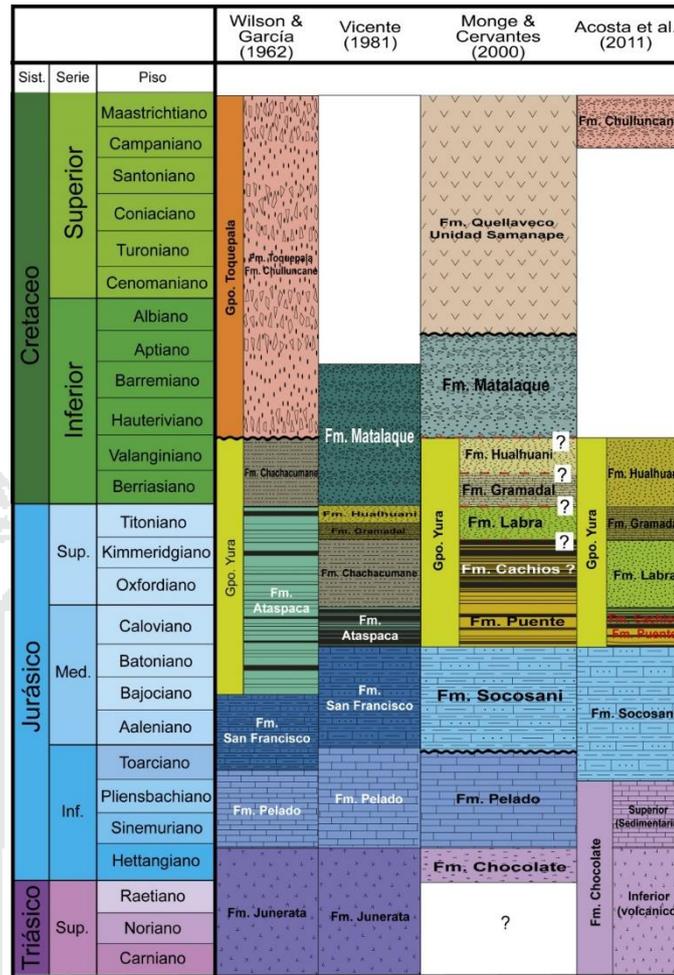


Figura 4: Comparaciones estratigráficas de la Cuenca Arequipa en el departamento Tacna.

2.2. ANTECEDENTES

Desde los años 80, diversos investigadores de empresas petroleras convirtieron los estudios de análisis de facies (microfacies) en una parte importante e incluso esencial en la interpretación de paleoambientes de plataformas carbonatadas que han sido generadas en márgenes pasivos (Posamentier et al., 1988; Alsharhan & Kendall, 1994; Friedman, 1998; Hunter & Plint, 2007, entre otros). En los Andes Centrales, trabajos en sedimentología realizados precisamente en los afloramientos mesozoicos de la Cuenca Arequipa, precisamente en el departamento de Tacna (pueblos de Pachía, Palca y Palquilla), han sido motivo de diversas investigaciones con énfasis en rocas detríticas, plutónicas y volcánicas. Jaworski (1916) fue el primero en describir rocas del Jurásico inferior en la zona de Tacna (Pachía y Palca) para fines del cartografiado geológico. Respecto a las rocas carbonatadas. León (1981) presentó una tesis de grado sobre las facies sedimentarias del Jurásico y Cretácico a lo largo del río Yura (Arequipa), describiendo al detalle los ambientes deposicionales. Aunque lejos

de la zona de estudios de esta tesis. León (1981) propuso el primer análisis de facies (microfacies) del Jurásico en el estratotipo de la Formación Socosani. Posteriormente Salinas (1985) en su tesis reportó facies (microfacies) del Jurásico inferior y Jurásico medio en los afloramientos de calizas en Palquilla (Cerro Taracollo), Palca (Quebrada. Palca) y Chucapalca (Quebrada. Quilla). Posteriormente, Wittmann (2001) reportó fauna fósil, facies y microfacies sedimentarias del Jurásico medio entre La Yarada (Tacna) y Zapiga (Tarapacá), con énfasis en facies carbonatadas, mencionando la importante interacción del volcanismo en la generación de vida en las plataformas carbonatadas. Es allí donde reporta biozonas de ammonites de edad Bajociano y Oxfordiano. Tal trabajo, brindó pistas para entender la relación del volcanismo y la formación de los deltas del Calloviano. En términos de variaciones del nivel del mar, Vicente (2006) reportó transgresiones marinas ocurridas en el Jurásico inferior (donde diversos autores comparan este evento con la transgresión registrada en la Formación Socosani con sus contrapartes en la cuenca Domeyko, (Chile) y posteriores regresiones en el Jurásico superior. Por lo expuesto, se tiene pistas aisladas acerca de la evolución de los Andes Centrales en el Jurásico.

2.3. FACIES SEDIMENTARIAS

Las facies sedimentarias de una roca estratificada, en su sentido estricto, son el “conjunto de características litológicas (composición, textura y estructuras sedimentarias) y paleontológicas que definen a dicha roca y permiten su diferenciación de las demás”. Una “facies sedimentaria”, en general, es la suma de las características litológicas y paleontológicas de una roca sedimentaria a partir de las cuales puede ser deducido su origen y el ambiente de su formación (Teichert., 1958; Miall, 1985).

Flügel (2004) definió el término “microfacies” como el total de todos los criterios paleontológicos y sedimentológicos que se puedan observar en la roca. Es decir, todos los detalles observables en la sección delgada que nos permitan distinguirlas de otras.

2.3.1. Análisis de microfacies en rocas carbonatadas

El término “microfacies” define las facies sedimentarias que pueden ser analizadas y caracterizadas en pequeñas secciones de una roca vistas al microscopio petrográfico. El análisis de microfacies empieza en campo con la recolección de muestras de roca, luego llevadas a la preparación de secciones delgadas para su estudio, las cuales comúnmente incluyen análisis tanto cuantitativos como cualitativos detallados, para una interpretación correcta es importante la textura de la roca como:

- Abundancia relativa de los constituyentes principales (granos, matriz, cementos).
- Formas, tamaños, selección y otras características de los granos carbonatados, incluyendo los tipos de biota fósil.
- Aspectos diagenéticos (e.g. disolución de minerales) y asociaciones sedimentarias.
- Estructuras sedimentarias.
- Naturaleza de la fábrica (granosoportado, lodosoportado, bioturbación).

Los cambios relativos del nivel del mar a pequeña escala de cuencas influenciarán en la formación de nuevas facies carbonatadas, y las comunidades de organismos y los hábitats se ajustarán a ello, evolucionarán y cambiarán para adaptarse a las nuevas condiciones. Un método abreviado, rápido, conciso es comparar con tipos de microfacies estándar (SMF por sus siglas en inglés), sistema propuesto por Wilson (1975) definió formalmente 24 categorías tipo, en donde agrupan nueve bandas de facies con características similares respecto al tipo de componentes, considerando el contenido paleontológico o la textura depositacional. Además, se asocian dichas categorías a determinados ambientes (cinturones de facies), (Tabla 1). Cada una de las facies determinadas resulta diferente y serán diagnósticos de un ambiente en particular.

2.3.2. Tipos de Microfacies Estándar (SMF por sus siglas en inglés)

Wilson (1975) y Flügel (2004) propusieron utilizar los datos procedentes del análisis de microfacies carbonatadas para establecer un número restringido de tipos de facies que sirvan como modelos para definir toda la arquitectura existente de plataformas carbonatadas, independientemente de las edades de estas rocas. Estas microfacies podrían considerarse como el “análogo” de los tipos de facies detríticos (“*facies types*”) de Miall (1985). En el caso de las rocas carbonatadas, su clasificación está referida como “*standard microfacies types*” (SMF) (tipo de microfacies estándares”. Posteriormente pueden ser agrupadas dentro de “zonas” de facies, las cuales son usadas luego para construir un modelo depositacional generalizado para las rocas carbonatadas (Figura 5). Éstas últimas vendrían a ser los análogos a las asociaciones de facies (“*facies associations*”) o elementos arquitecturales (“*architectural elements*”) de Miall (1985, 1996).

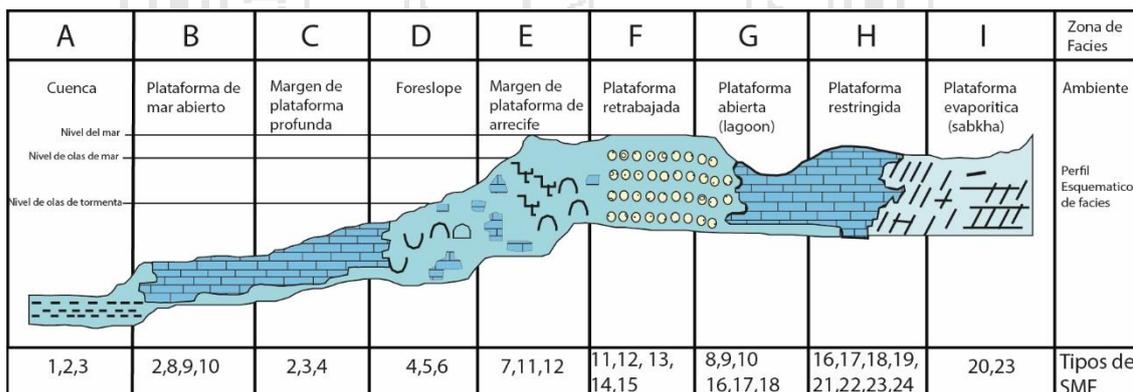


Figura 5: Ambientes de depositación generalizados de una plataforma carbonatada y sus zonas de facies (tomado de Wilson, 1975). Para verificar las facies sedimentarias típicas de cada ambiente sedimentario o tipos de microfacies estándares (numeración en la parte inferior), véase la Tabla 1. Abreviaciones: SMF = standard microfacies type (modificado de Quispe., 2016).

A. Facies de cuenca (*fondoform*). El agua es muy profunda para la producción y depósito de carbonatos, y depende mucho de la cantidad del influjo de sedimentos finos arcillosos y material silíceo en general. Pueden darse condiciones euxínicas e hipersalinas, por lo que es difícil la desintegración de plancton.

B. Facies de plataforma de mar abierto (*deep undathem*). El apilamiento de agua tiene una profundidad de decenas o aún cientos de metros y generalmente es oxigenada con salinidad marina normal. Las corrientes tienen buena circulación y son lo suficientemente profundas para encontrarse bajo el

nivel de oleaje normal, pero con tormentas intermitentes que afectan los sedimentos del fondo.

C. Facies de margen de plataforma profunda. Se encuentra en el límite o al pie de la plataforma carbonatada de material conchífero derivado de la misma. Las condiciones de profundidad y base del oleaje, así como el nivel de oxígeno son muy similares a las de la facies B (Plataforma de mar abierto).

D. Facies de pendiente frontal de la plataforma carbonatada (*foreslope* o *clinoform*). Generalmente la pendiente se localiza arriba del límite más bajo de agua oxigenada, encima de la base del oleaje. Los detritos carbonatados se depositan comúnmente con una inclinación de casi 30 grados, es inestable y de tamaño variado. La estratificación presenta derrumbes, montículos, frentes en forma de cuña y bloques grandes.

E. Facies de arrecifes de margen de plataforma (construcción orgánica). El carácter ecológico depende de la energía del agua, inclinación de la pendiente, productividad orgánica, cantidad de la construcción del armazón, uniones, entrapamientos, frecuencia de exposiciones subaéreas y cementación. Se distinguen tres márgenes de plataforma lineares:

- Tipo I. Formado por la pendiente de lodo carbonatado y acumulaciones de restos orgánicos.
- Tipo II. Se refiere a rampas de arrecifes en loma, formando armazones orgánicos en grupos aislados o capas incrustantes de organismos creciendo en la base del oleaje y estabilizando los restos orgánicos.
- Tipo III. Son armazones de bordes arrecifales como las asociaciones actuales de coral-alga con formas sésiles que crecen a través de la base del oleaje dentro de la zona de rompiente.

F. Facies de arenas de barrera arenosa de borde de plataforma (plataforma retrabajada). Éstas toman las formas de bancos, playas, barras de marea de mar abierto en abanicos, cinturones o islas de dunas. La profundidad de depositación de tales arenas marginales varían de 5 a 10 metros. El ambiente es oxigenado, sin embargo, no es adecuado para la vida marina debido al cambio constante de sustrato.

G. Facies marina de plataforma abierta (*lagoon*). Este ambiente se localiza en zonas estrechas, es decir, lagunas y bahías abiertas detrás del borde de plataforma externa. La profundidad del agua es generalmente somera, a

veces solo algunos metros de profundidad. La salinidad es normal, a veces variable y con circulación moderada.

H. Facies de plataforma de circulación restringida. Incluye la mayor parte de los sedimentos finos en lagunas muy someras y los sedimentos gruesos en canales de marea y playas locales. Todo el complejo corresponde al ambiente de planicies de mareas. Las condiciones son extremadamente variables y constituye un ambiente muy difícil para los organismos. Llegan a presentar aguas dulces, salinas e hipersalinas, con exposiciones subaéreas frecuentes y con condiciones reductoras y oxidantes; existe abundante vegetación tanto marina como de pantano. Los terrígenos de origen eólico pueden llegar a representar una porción importante en los depósitos.

I. Facies de plataforma evaporítica (*sabkha*). Ambiente de supramarea y de lagos en la plataforma marina. El clima se caracteriza por ser árido y con un intenso calor (áreas de *sabkhas* y planicies de sal), por lo que las inundaciones marinas son muy esporádicas. El yeso y la anhidrita son muy comunes dentro de estos depósitos.

De acuerdo al modelo standard de Wilson (1975), ciertas condiciones pueden variar y un solo ejemplo difícilmente incluiría el total de las nueve (A-I) facies antes mencionadas. Por ejemplo, las facies A y B dependerán del banco de carbonatos construido o la rampa que se eleve de aguas muy profundas de cuencas euxínicas, o que se levante por arriba de la plataforma con circulación abierta.

Tabla 1. Tipos de microfacies estándar basados en Wilson (1975) y Flügel (1982).

Microfacies Estándar (SMF)	Litología	Ambiente
1	Espiculita Mudstone (limolita) arcilloso oscuro o wackestone, rico en materia orgánica	De cuenca, ambiente de agua profunda con sedimentación lenta.
2	Calcsilitica microbioclastos. Bioclastos pequeños y peloides en una grainstone o packstone de tamaño de grano muy fino; laminación cruzada en ripple de pequeña escala.	Plataforma de mar abierto cerca de la pendiente más baja, margen más profundo de la plataforma.
3	Mudstone (limolita) y wackestone pelágico. Matriz micrítica que contiene microfósiles pelágicos esparcidos (e.g. radiolarios o globigerinidos) o megafauna (e.g. graptolitos o fragmentos de bivalvos de concha delgada)	Como 1 y 2
4	Microbrecha o packstone bio-lito/clástica. Granos redondeados a menudo gradados. De origen polimictico o monomictico. También cuarzo, cherts y detritos carbonatados.	Talud de la ladera sumergida (de un atolón), calizas resedimentadas
5	Grainstone-packstone o floatstone con bioclastos de arrecife. Sedimentos geopetales	Facies de flanco de arrecife
6	Rudstone de arrecife; sin material de matriz.	Pendiente del frente del arrecife, restos de arrecifes; normalmente en zona de gran energía.
7	Boundstone. Subtipos de framestone, bindstone, o baffestone.	Arrecife a menudo se encuentra en márgenes de plataforma.
8	Wackestone con organismos enteros, infauna y epifauna bien conservada.	Albuferas (lagoon) de plataforma con circulación; aguas de baja energía por debajo del nivel de base normal del oleaje.
9	Wackestone bioclástico o micrita bioclástica. Fragmentos de diversos organismos, bioturbada. Los bioclastos pueden estar micritizados.	Aguas someras con circulación abierta cerca del nivel de base.
10	Packstone-wackestone con bioclastos recubiertos y desgastados.	Inversión textural; las partículas dominantes de ambientes de alta energía han descendido por pendientes locales a emplazamientos de baja energía.
11	Grainstones con bioclastos recubiertos, en cemento de espato.	Arenas aventadas de borde de plataforma; áreas con constante acción de oleaje en o sobre el nivel de base.
12	Coquina, packstone bioclástico, grainstone o rudstone con concentraciones de organismos. Dominan ciertos tipos de organismos (e.g. dasicladáceas, conchas, o crinoides).	Laderas y bordes de plataforma.
13	Grainstone oncoide (bioesparita).	Áreas de energía ligeramente alta, agua muy somera.
14	Residuales. (Lagos). Partículas recubiertas y redondeadas, mezcladas en los emplazamientos con ooides y peloides. Pueden estar teñidas de negro y con manchas por el hierro con fosfato; litoclastos; normalmente en capas delgadas.	Acumulación lenta de material de grano grueso en zona de aventamiento.
15	Oolitos de ooides bien-calibrados; fabrica normalmente re-empaquetada; siempre con laminación cruzada.	Ambiente de alta energía en los bancos de oolitos, playas, y barras de marea.
16	Grainstone con peloides. Probablemente "pellets" fecales, en emplazamientos mezclados con concentradas pruebas de ostrácodos o foraminíferos.	Agua somera con circulación de agua restringida y llanuras de marea.
17	Grapestone, pelsparita o grainstone con granos agregados, aislados y peloides aglutinados, algunos granos recubiertos (coated grains).	Plataformas con circulación de agua restringida y llanuras de marea.
18	Grainstone de foraminíferos o dasicladáceas.	Barras de marea y cauces de albuferas (o lagoons)
19	Fenestral, mudstone (limolita)-wackestone laminado, pasando de vez en cuando a pelesparita con fábricas fenestrales. Ostrácodos y peloides, foraminíferos esporádicos gasterópodos y algas.	Bahías y plataformas restringidas.
20	Mudstone (limolita) estromatolito microbiano.	Muy frecuente en la zona intermareal.
21	Mudstone (limolita) espongiostroma. Fabrica microbiana convoluta en sedimento de lodo caliza de micrita de grano fino.	Plataformas de marea.
22	Micrita con oncoides grandes, wackestone o floatstone	Ambiente de baja energía, agua poco profunda, zona entre el arrecife y la costa; a menudo en los bordes de plataformas o canales.
23	Micrita pura, no laminada, no fosilífera homogénea; puede tener minerales evaporíticos.	Plataformas hipersalinas de marea.
24	Rudstone o floatstone con litoclastos de grano grueso y bioclastos. Los clastos normalmente consisten en micrita no fosilífera; puede estar imbricado y con laminación cruzada; escasa matriz.	Deposito residual en cauces de marea (brecha intraformacional)

2.4. PLATAFORMAS CARBONATADAS

Las plataformas carbonatadas son potentes (gruesos) cuerpos sedimentarios que posee un relieve topográfico compuesta por depósitos calcáreos autóctonos (Wilson, 1975), estos depósitos se desarrollan en un amplio rango de emplazamientos geotectónicos, particularmente a lo largo de los márgenes continentales pasivos, en cuencas intracratónicas de rifts fallados, y desde cuencas marginales a cuencas de antepaís.

2.4.1. Tipos de Plataforma Carbonatada:

Se reconocen cinco categorías principales de plataforma carbonatada (Figura 6). Cada uno tiene un modelo distinto de facies generalizadas y distinguirse varios tipos de cada categoría de plataforma. El tipo de plataforma carbonatada está determinada principalmente por la geotectónica y el nivel relativo del mar.

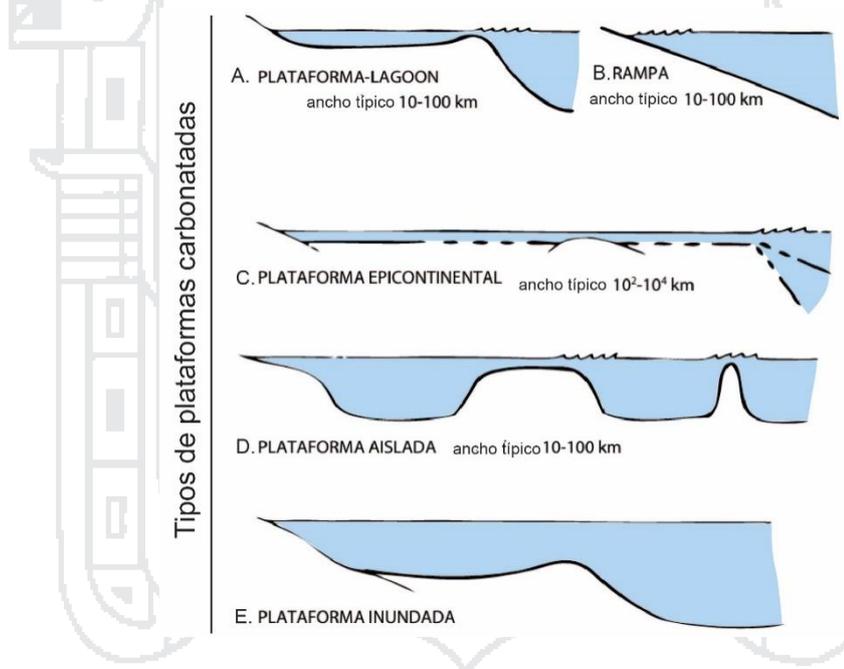


Figura 6: Plataformas carbonatadas, esquemas de las categorías principales (modificado de Tucker, 1990).

➤ **Plataforma anular carbonatadas (*Shelf*):**

Es una plataforma de aguas someras con un descenso pronunciado de cuesta de agua profunda. La anchura es alrededor de 100 km. Las cuales se dividen en tres tipos principales: Acreción; Desviación; Erosión (McHreath, 1984; Read, 1982, 1985).

Se caracteriza por el desarrollo de arrecifes y masas de arena carbonatada a lo largo de la margen de la llanura de marea (*shelf*).

➤ **Plataforma rampa:** También se les conoce estos depósitos como rampa carbonatada es una superficie suavemente inclinada suavemente (menos 1° de gradiente), y se caracteriza por el cambio de facies de arenosa de olas agitadas costeras a facies más lodosas de anteplaya en aguas profundas (Figura 7).

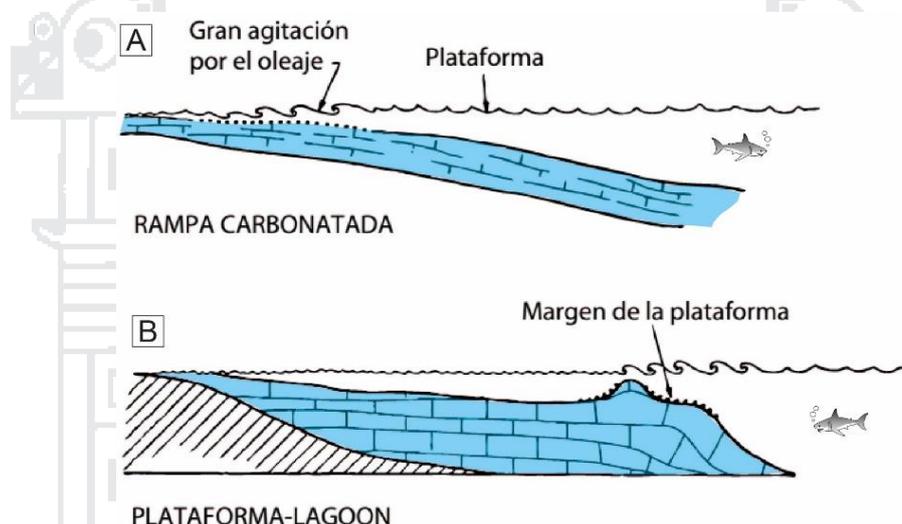


Figura 7: Modelo de deposición de una rampa carbonatada en comparación de una plataforma *lagoon*. En A: modelo de rampa carbonatada. En B: modelo de plataforma tipo *lagoon* (tomado de Wilson, 1975).

Se han distinguido dos categorías de rampa. Las rampas homoclinales (i) y (ii) rampas distalmente empinadas (Read, 1985), la nomenclatura de estas rampas está definida principalmente en función de su morfología (Figura 8).

Rampas homoclinales: En estos depósitos se exhibe hay muy pocos deslizamientos (*slumps*).

Rampas distalmente empinadas: Aquí se forman depósitos de flujo de residuos o turbiditas en las facies de rampa de aguas profundas por gravedad de flujos de depósito.

Los cambios del nivel del mar y las velocidades de subsidencia son factores clave para explicar el espesor de la facies de la rampa y predecir la migración

lateral de las plataformas carbonatadas, así como también eventuales masas de arena.

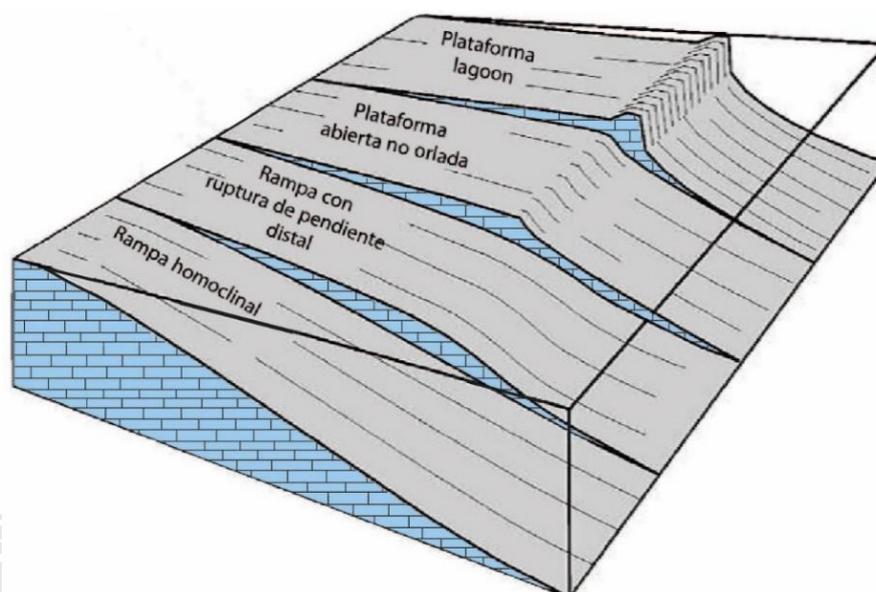


Figura 8: Tipos de plataformas carbonatadas de acuerdo a su pendiente (modificado de Tucker, 1990).

➤ **Plataforma epeirica:**

Se trata de áreas cratónicas muy extensas (100 a 10 000 km de ancho), planas, cubiertas por un mar poco profundo. En su mayoría son dominadas por facies someras submareales – intermareales de baja energía además son típicos los ciclos somero – ascendentes de la llanura de marea.

➤ **Plataforma aislada:**

De aguas someras, normalmente con lados empinados rodeados por aguas profundas, el rasgo característico es que la distribución de las facies está muy afectada por prevalecer las direcciones del viento y tormentas.

➤ **Plataforma sumergida (*drowned*):** Son plataformas anulares, rampas, aisladas y epeirica de las cuales se han sometido al levantamiento del nivel del mar relativamente rápido para sumergir una plataforma carbonatada, con lo que se han depositado facies de aguas más profundas sobre carbonatos de aguas someras.

Los levantamientos rápidos del nivel del mar pueden ser a consecuencia de subsidencias inducido por fallas y levantamientos glacio - eustáticos del nivel del mar o resultado de tensión medioambiental.

2.5. GEOQUÍMICA

Mediante el estudio geoquímico de las rocas carbonatadas, se provee dos tipos de datos, por una parte, aquellos que se utilizan en la interpretación genética de los materiales y de otra los referentes a la evolución de los resultados geoquímicos obtenidos en el estudio de una sección estratigráfica los cuales nos sirven para correlacionar secciones estratigráficas. (Jiménez, 1994).

En rocas carbonatadas hay que diferenciar los componentes mayoritarios (por ejemplo, CaCO_3 en calizas y $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ en dolomías), y los componentes minoritarios son aquellos que se presentan en un porcentaje que varía entre 5 a 0.1 % en peso (por ejemplo, materia orgánica, residuo insoluble en carbonatos, etc.), y los denominados elementos traza los más frecuentes son Sr, Mn, Fe, K y Na, cuya unidad de medida es partes por millón en peso (ppm).

2.5.1. Componentes principales de los carbonatos

La unidad estructural de todos los minerales carbonatados es el grupo del CO_3 el cual constituye tres átomos de oxígeno que forman las esquinas de un imaginario triángulo equilátero que está centrado por un átomo de carbono.

Para entender los minerales carbonatados volumétricamente, es necesario entender su estructura cristalina. Los minerales carbonatados volumétricamente más importantes son la calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{Ca Mg}[\text{CO}_3]_2$) y el aragonito (CaCO_3) (Turker, 1990).

2.5.2. Elementos Trazas

La abundancia de los elementos traza se mide en partes por millón (ppm) o en porcentajes (%). Entre los elementos traza existe una gran variedad, entre los que destacan: Sr, Mg, Mn, Fe, K y Na. Con carácter más eventual se han utilizado: Ba, Ni, Cr, Ti, P, Cu, V y algunas Tierras Raras (Vera, 1994).

Según Rollison (1993), los elementos trazas se presentan en una roca en concentraciones menores a 0.1 wt%, el cual es menor a 1000 partes por millón (ppm). La geoquímica cuantitativa de elementos traza asume que se encuentran presentes en un mineral en solución sólida hasta la sustitución de éstos por motivos diagenéticos o post-diagenéticos. Las escasas concentraciones permiten establecer relaciones simples entre la composición química y alguna actividad geológica en particular.

Desde un planteamiento puramente teórico el conocimiento exacto de la abundancia de estos elementos en las diferentes rocas, y en especial, su

evolución a lo largo de una sección estratigráfica, suministra un posible criterio de división y de correlación entre diferentes secciones estratigráficas de una misma cuenca.

Los elementos traza presentan sensibilidad geoquímica mucho mayor que los demás y pequeñas variaciones en sus concentraciones permiten determinar cambios en las rocas. Entre las relaciones que se pueden realizar con estos elementos son:

- Relación Mn/Ca: Ésta es utilizada para determinar la existencia de actividad hidrotermal dentro de un medio sedimentario (Vera, 1994).
- Relación Sr/Ca: Ésta se utiliza para determinar cambios del nivel del mar dentro de una cuenca los cuales pueden correlacionarse a distancia con otros eventos de carácter global o regional (Vera, 1994).
- Relación Fe/Mn: Ésta tiene una correlación negativa con el hidrotermalismo submarino, de manera que los valores máximos de Fe/Mn se corresponderán con etapas de mínimos hidrotermales y viceversa, aunque mayormente es utilizada para determinar cambios en las condiciones redox de un medio (Vera, 1994).

2.6. PETROGRAFÍA EN ROCAS CARBONATADAS

En las rocas carbonatadas para su estudio petrográfico principalmente se considera tres componentes: los granos (se pueden subdividirse en granos no de esqueletos y granos de esqueletos), la matriz y el cemento. A continuación, se detalla:

2.6.1. Granos Carbonatados (Aloquemos o Aloquímicos)

Cualquier tipo de partícula carbonatada de origen bioquímico o químico, que denota un alto grado de organización y complejidad y que normalmente ha sufrido algún grado de transporte.

2.6.1.1. Bioclastos (granos esqueléticos, fósiles)

Restos completos o fragmentados de los esqueletos construidos por organismos (Figura 9). Por ejemplo, moluscos (pelecípodos, gasterópodos, cefalópodos), braquiópodos, equinodermos, briozoos, foraminíferos, corales, algas calcáreas, etc., la identificación caracterización de estos elementos contribuye a la reconstrucción de los medios sedimentarios antiguos, sin embargo, las

asociaciones biológicas características de un medio han podido variar según la escala del tiempo geológico.

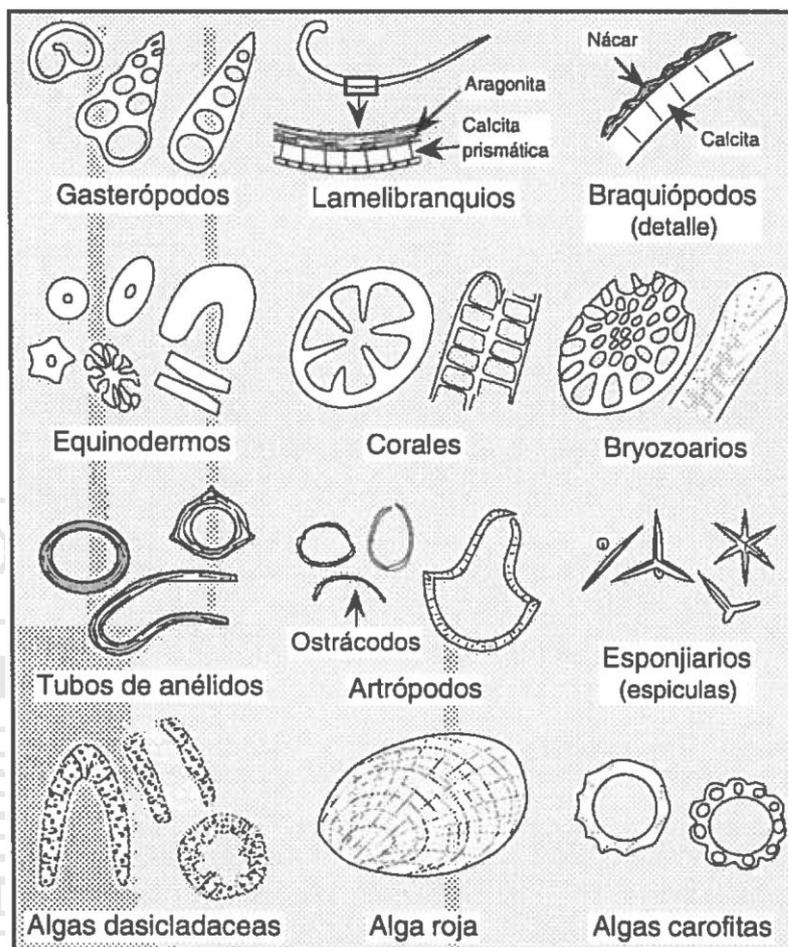


Figura 9: Aspecto en sección delgada o sección pulida de algunos organismos frecuentes en los carbonatos de plataforma (sin escala). Tomado de Jaillard (1994).

Lamelibranchios (pelecípodos): Son frecuentes en zonas someras, dulces o saladas (Figura 9). Pueden vivir dentro o sobre sedimento, moviéndose o pasivos en el agua o en colonias, tienen generalmente una capa interna aragonítica y una externa calcítica.

Gasterópodos: Viven generalmente sobre substratos blandos en aguas marinas someras, sin embargo, algunas especies pueden encontrarse en agua dulce, salobre o sobresalobre.

Cefalópodos (ammonites, nautilus, belemnites): son estrictamente marinos y viven en el alta mar (medio pelágico). Su concha es generalmente de aragonita y posteriormente se transforma en calcita espática (Figura 9).

Braquiópodos: Viven en aguas marinas someras (pocas especies actuales colonizaron otros medios), generalmente poco magnesianas.

Corales (Cnidarios): Son hermatípicos y viven en simbiosis con algas en aguas someras, calientes, oxigenadas, claras y limpias. Forman colonias, junto con algas rojas, edifican arrecifes, también pueden alimentar una sedimentación periarrecifal detrítica. Su estructura consiste en fibras finas con orientación variada, la mineralogía es variada de acuerdo a la época y familia (Figura.9).

Equinodermos (holoturias, estrellas de mar, etc): Solo los equinoideos y los crinoideos alimentan la sedimentación marina. Son exclusivamente marinos y caracterizan medios someros y abiertos. Se reconocen por tener una simetría pentagonal (Figura 9), y ser formados por grandes monocristales porosos de calcita, a veces con canal central (crinoideos). Durante el Mesozoico y Paleozoico vivían en aguas someras.

Bryozoarios: Viven en medios marinos abiertos someros hasta de regular profundidad.

Anélidos: Viven a menudo en colonias y están aplastadas durante la diagénesis, construyen tubos cilíndricos de protección.

Foraminíferos: Protozoarios de tamaño grande (0.05mm a $\varnothing < 10$ mm). Los planctónicos contribuyen a la formación de lodos carbonatados pelágicos o hemipelágicos. Los bentónicos son abundantes en aguas marinas someras templadas a calientes, donde se caracterizan medios muy variados (abierto-confinado, somero-profundo, sub – a sobre-salado, etc.), presentan estructuras variadas: aglutinada, microgranular, porcelana, fibro-radial, etc. (Figura 9).

Artrópodos: Incluyen los ostrácodos, especialmente frecuentes en medio sobresalados o salobres, formados por pequeñas válvulas finas a menudo desigual, y otros crustáceos (trilobites, cangrejos, camarones).

Algas: Son importantes en la sedimentación carbonatada. Si son autóctonos indican un medio limpio de débil profundidad (máximo 100m), ya que viven en la zona fótica.

Algas Azules (Cyanoficeos): Son responsables de la micritización de la superficie de las partículas de calcita, por microperforaciones repetidas que pueden resultar en la micritización completa del fragmento (peloideo).

Algas Rojas (Rhodoficeos): Compuesta por calcita altamente magnésica, tienen estructura regular, concéntrica radial (Figura 9). Viven en aguas calientes donde forman costras que contribuyen a la edificación y la consolidación de arrecifes.

Algas Verdes (Cloroficeos): Presentan estructuras en cilindros (o esferas) perforados y segmentados. Contribuye a la sedimentación en las plataformas abrigadas se da en forma de trozos formando calcarenitas. Caracterizan medios variados de agua dulce (carofitas), aguas calientes muy someras o lagoon (dasicladaceas) o plataforma somera (codiaceas.)

2.6.2. Granos agregados:

Granos complejos que consisten en varias partículas (bioclastos, ooides, peloides) unidas entre sí por micrita o cemento esparítico. Normalmente tienen formas lobulares irregulares subredondeadas y botroidales.

Peloides: Granos no esqueléticos, de forma ovoidal, compuestos por micrita con una estructura interna masiva (carecen de estructura interna reconocible). Tamaños variables, aunque generalmente entre 0,1 y 0,5 mm de diámetro.

Origen: Producto de la actividad fecal de organismos (pellets fecales), por destrucción y homogeneización de la estructura interna de partículas previas por abrasión mecánica o erosión biológica, retrabajo y redondeamiento de barros calcáreos (intraclastos finos).

Ambientes de formación: Ambientes protegidos (lagoons y llanuras mareales), en cavidades estructurales que se pueden hallar dentro de arrecifes.

Oolitos (ooides): Granos no esqueléticos, de forma esféricos o elipsoidales, que consisten en una o más láminas concéntricas regulares alrededor de un núcleo (grano de cuarzo, bioclastos, etc.). Con diámetro menor a 2 mm, frecuentemente entre 0,2-0,5 mm, con buena selección. Si su tamaño supera los 2 mm, reciben el nombre de pisolitos o pisoides.

Los ooides en rocas antiguas suelen presentar tanto las láminas concéntricas como una estructura radial. No siempre se puede dilucidar si la estructura radial corresponde a una estructura primaria o si se formó durante la inversión de aragonito a calcita. Según la geometría de los oolitos, estos se clasifican como:

Oolitos superficiales: sólo una lámina alrededor del núcleo.

Oolitos normales: varias láminas alrededor del núcleo.

Oolitos compuestos: varios aloquemos menores envueltos en conjunto por láminas concéntricas.

Ambientes de formación: Por precipitación inorgánica (química) en aguas marinas tropicales, en áreas de plataforma somera (menos de 5 metros de profundidad, a veces hasta 10-15 m.) de alta energía. También ríos y lagos.

Oncolitos (oncoides): Granos no esqueléticos, con laminación micrítica irregular alrededor de un núcleo. La precipitación de las láminas es debido a la actividad de algas (a diferencia de los oolitos). Tamaño muy variable, hasta centímetros y decímetros, con mala selección (a diferencia de los oolitos).

2.6.3. Intraclastos:

Fragmentos retrabajados de sedimento débilmente consolidado dentro de una cuenca de sedimentación por la acción de corrientes, oleaje, deslizamientos, etc. La morfología típica es de fragmentos generalmente angulosos, de tamaños variables compuestos de barro micrítico y/o fragmentos de bioclastos u otros granos. Fracciones de sedimento inicialmente depositados en el fondo de la cuenca sedimentaria y parcialmente litificado, fue posteriormente removilizado, formando así nuevos granos sedimentarios.

Ambientes de formación: Se depositan en cualquier zona de plataforma, talud o llanura abisal, con aumentos bruscos de energía que retrabaja sedimentos previamente depositados. Áreas intermareales o supramareales, canales mareales, taludes marinos, etc. Debido a su modo de formación, los depósitos de intraclastos muestran una fuerte homogeneidad en cuanto a las características externas e internas de estos fragmentos

2.6.4. Extraclastos:

Fragmentos redondeados o angulosos procedentes de la erosión de rocas carbonatadas más antiguas y externas al ambiente de sedimentación (fuera de la cuenca), que han sido transportados y redepositados. La estructura interna corresponde a la de la roca carbonatada que ha sufrido procesos de diagénesis más o menos intensos.

Para la distinción entre intraclastos y extraclastos,

Un extraclasto posee:

- Fósiles más antiguos al contenido fosilífero de la roca.
- Partículas truncadas en el borde del clasto.
- Evidencias de cementación bien desarrollada.
- Presencia de vetillas rellenas por cementos o compactación interna.
- Bordos desgastados.

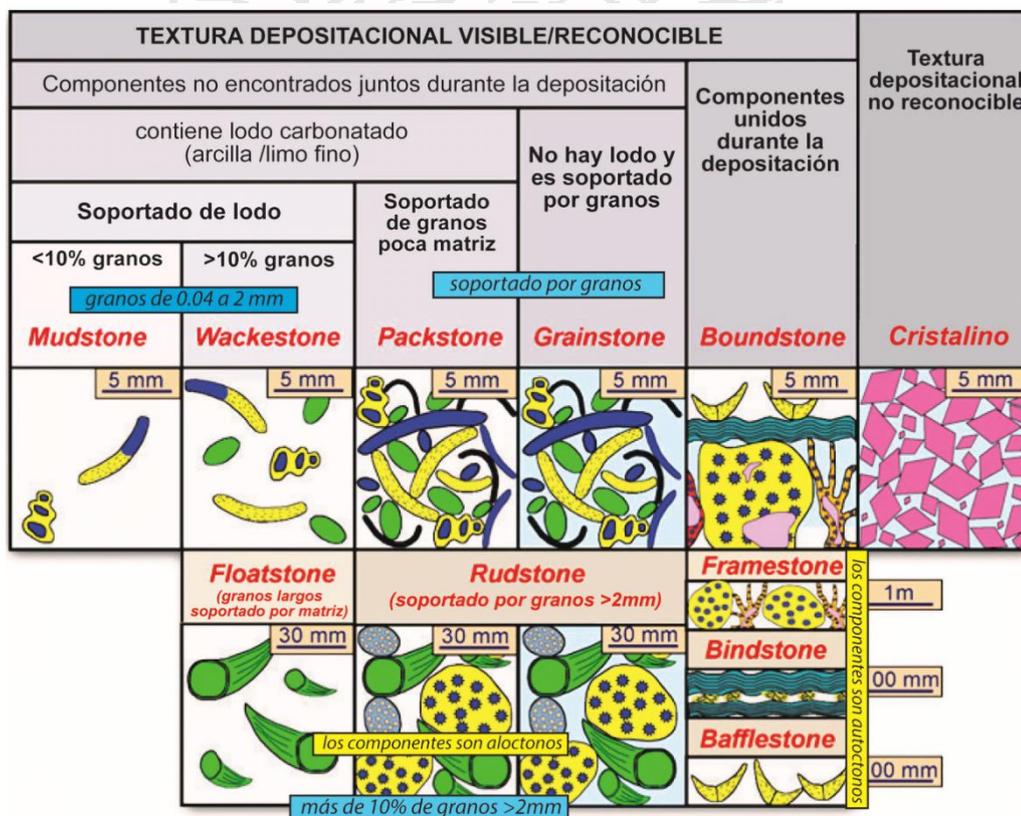
2.6.5. Partículas Terrígenas:

Granos no carbonatados tales como fragmento de roca, cuarzos, feldespatos, chert, o arcillas. Son partículas procedentes de la erosión de rocas externas al ambiente de sedimentación (ver sección de rocas siliciclásticas).

2.6.6. Clases de texturas depositacionales:

Según el ordenamiento de los componentes de las rocas carbonatadas, y su aspecto general, las rocas carbonatadas pueden clasificarse hasta en 6 tipos de calizas i.e. *mudstone*, *wackestone*, *packstone*, *grainstone*, *floatstone* y *rudstone*.

Figura 10: Visualización de la clasificación de texturas depositacionales de Dunham (1962) y



modificada por Hallsworth & Knox (1999), Dunham (1962), y Embry & Klovan (1971).

Carbonatos con soporte de matriz (Figura 10):

- **Caliza mudstone:** Roca carbonatadas compuestas por más del 75% en lodo calcáreo (<62 µm) y menos del 10% de granos/clastos/fragmentos. Se les conoce también como calcilutita. Su textura es lodosa a microcristalina (grano muy fino), puede ser masivo, laminado, bioturbado. Puede haber micritas-dolomicritas (ausencia de granos, o <1%) y dismicritas (bird-eyes). En una muestra de mano, es difícil distinguir entre lodo y cemento de calcita espática.

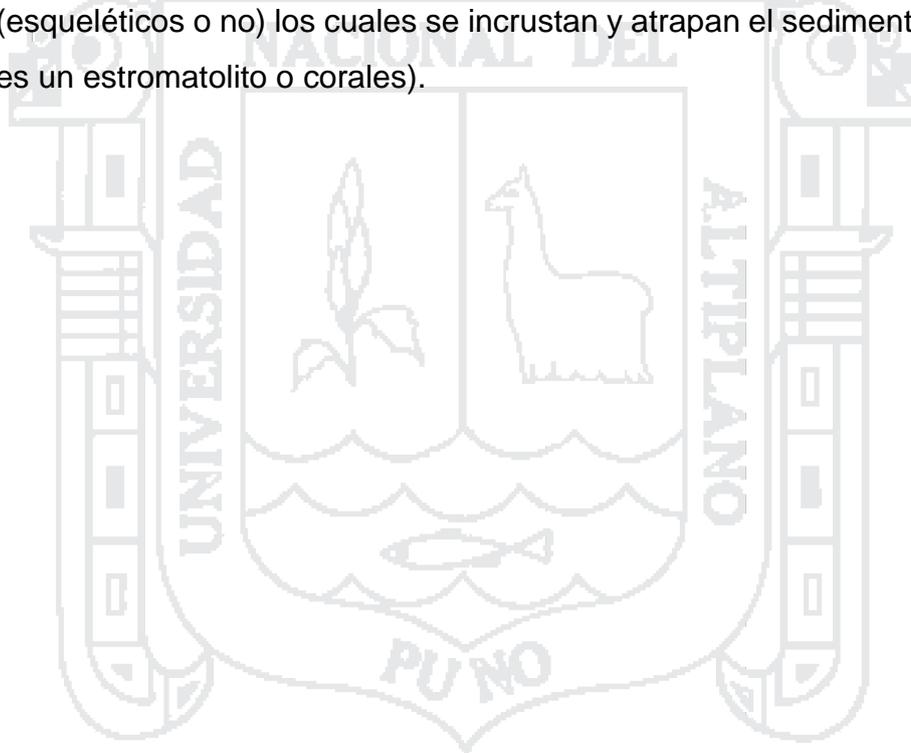
- **Caliza wackestone:** Roca que presenta soporte de matriz (o soportado por lodo). Son rocas carbonatadas con menos del 75% de lodo calcáreo (<62 μm) y más del 10% de granos/clastos/fragmentos (componentes aloquímicos). Su textura es lodosa a microcristalina (grano muy fino), laminado, bioturbado, masivo, granular (o grumosa). Los componentes aloquímicos usualmente aparecen “flotando” en medio de la matriz.
- **Caliza floatstone:** Son calizas tipo *packstone* en el cual al menos 10% de los granos son del tamaño de una grava (i.e. mínimo 2 mm). Son rocas carbonatadas con soporte de granos (Figura 10).
- **Caliza packstone:** Roca carbonatada intergranular, (granular), con soporte de granos (o grano-soportado) con espacios rellenos por matriz micrítica. Usualmente tiene al menos más del 1% de micritas como matriz, >60% de granos, con bioclastos y/o pellets, ooides, intraclastos. Se les conoce también como calcarenita y calcirudita en general. Usualmente, la estructura de granos de una caliza *packstone* puede estar cerrada (“granos” en contacto).
- **Caliza grainstone:** Roca con armazón de granos (o grano-soportado), (granular), con escasa o sin matriz micrítica. Se les conoce también como calcarenita o calcirudita. Los granos pueden ser abundantes (>75%), con abundantes fósiles, ooides e intraclastos. Estas rocas comúnmente pueden contener granos de cuarzo. Usualmente, la estructura de granos de una caliza *wackestone* puede estar abierta.
- **Caliza rudstone:** Son calizas de textura muy gruesa en la cual su matriz puede estar conformada generalmente por *grainstones* o *mudstones* (soportando los granos) en los cuales al menos 10% de los granos son del tamaño de una grava (>2 mm).

Clases de texturas biogénicas. Se tiene (Figura 10):

- **Caliza boundstone:** Los componentes originales de la roca fueron modificados por acción de las plantas y animales (bioconstructores). Se entiende que los componentes fueron unidos durante la depositación. En estas rocas se observa intercrecimiento de material esquelético, laminación contraria a la gravedad, o cavidades selladas por sedimentos, y al techo, cubiertos por material orgánico, pero no tan largos como para ser considerados intersticios. Se entiende por “*boundstone*” como rocas

carbonatadas en los cuales sus componentes han sido unidos durante el proceso de construcción orgánica.

- **Caliza *framestone***: Es un tipo de roca que se forma en ambientes de arrecife y consiste en un determinado conjunto de colonias de conchas o esqueletos, con cavidades internas rellenas por sedimentos finos (Figura 10).
- **Caliza *bafflestone***: Son calizas tipo boundstones en los cuales los materiales orgánicos están compactados y asemejan estar influidos por corrientes de agua. En este tipo de calizas, los organismos de alguna bioconstrucción atrapan sedimentos por efecto “pantalla”, por ejemplo, *mud mounds*.
- **Caliza *bindstone***. Son un tipo de bioconstrucción por organismos (esqueléticos o no) los cuales se incrustan y atrapan el sedimento (este caso es un estromatolito o corales).



CAPITULO III

3. CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE INVESTIGACIÓN

3.1. ASPECTOS GENERALES DE LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se encuentra en la parte sur de Perú, entre los cuadrángulos de Pachía (36v) y Palca (36x), Tacna y morfológicamente se encuentra abarcando las Planicies Costaneras y la Cordillera Occidental. Las rocas de la Cordillera Occidental se encuentran afectadas por la cinemática Cenozoica y actual del Sistema de Fallas Cincha - Lluta Incapuquio (Carlotto et al., 2009).

Ubicación y Accesibilidad

El área de estudio está ubicada en el extremo sur del Perú, en el departamento de Tacna, específicamente entre los cuadrángulos de Pachía (36v) hojas 36v1, 36v2 y Palca (36x) hojas 36x4 y 36x3. (Figura 11).

Las coordenadas geográficas que delimitan la zona de estudio se encuentra entre los paralelos 17°30' y 18°00' Latitud Sur.

La accesibilidad a la zona de estudio es por vía aérea y terrestre, por medio de las diferentes carreteras afirmadas que se interconectan con las principales vías de acceso.

Para llegar a la zona de estudio se toma las siguientes rutas como son:

Cuadro 1: Ruta de Acceso a las zonas estudiadas

N°	TRAMO	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VIA	VIA PRINCIPAL
		(Km)	(min.)		
1	Lima - Tacna	-	100	Aérea	Lima - Tacna
2	Lima - Tacna	1241	1028	Asfaltada	Lima - Tacna
3	Tacna – Pachía	11.3	16	Asfaltada	Tacna – Pachía
4	Pachía - Cerro Tocuco	18.8	17	Afirmado	Tacna – Pachía
5	Pachía- Cerro Palo	25.2	29	Afirmado	Tacna – Pachía
6	Tacna – Palca	51.3	49	Asfaltada	Tacna – Palca
7	Palca – Cerro Pelado	-	-	Afirmado	Tacna – Palca
8	Tacna - Palquilla	-	-	Asfaltada	Tacna - Tarata
9	Palquilla - Cerro Palquilla	62.2	80	Afirmado	Tacna - Tarata

3.2. CONDICIONES CLIMATICAS

3.2.1. Clima y Vegetación

En el departamento de Tacna el clima es templado y desértico, la temperatura promedio es de 16.5°C, las temperaturas más frías corresponden a los meses de julio y agosto y las máximas se alcanzan en enero y febrero, la altura promedio es de 0 m.s.n.m. hasta los 5 742 m.s.n.m. (Nevado Barroso), variable dependiendo de la ubicación.

La vegetación más representativa en Tacna son la variedad de la vegetación herbácea como el ichu, el berro, el aliso, la tola y abundantes cactáceas, entre los arboles característicos se encuentra el queñual. En sus valles se producen cultivos como el olivo, la vid y otros frutales.

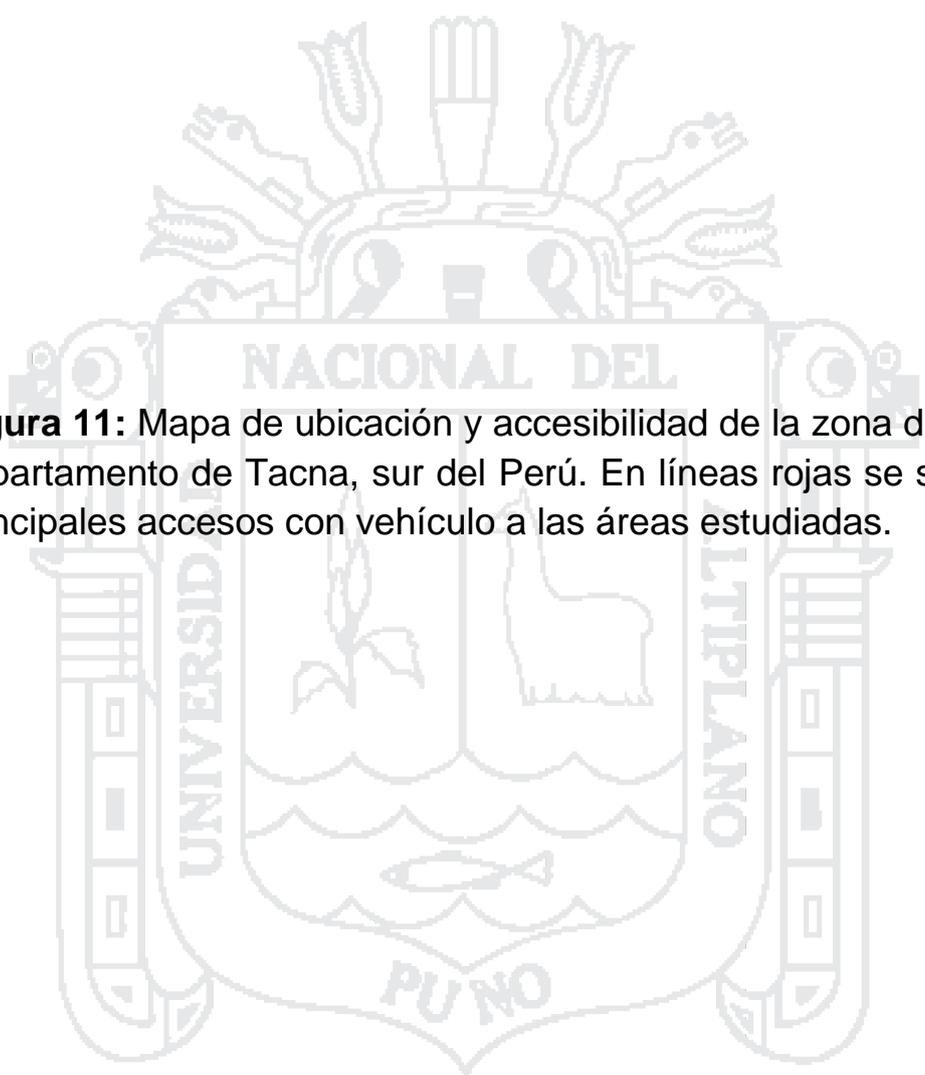


Figura 11: Mapa de ubicación y accesibilidad de la zona de estudio, departamento de Tacna, sur del Perú. En líneas rojas se señala los principales accesos con vehículo a las áreas estudiadas.

3.3. MARCO GEOMORFOLOGICO

El área de estudio se encuentra abarcando parcialmente la Planicie Costanera y la Cordillera Occidental, donde la estructura más importante en el sector es el sistema de Fallas Cincha – Lluta Incapuquio (CLLI por sus siglas en español, Jacay et al., 2002) (Figura 3.2).

3.3.1. Planicies Costaneras

La planicie costanera en Tacna se presenta a manera de una faja alargada de dirección NO-SE con un ancho promedio de 55 km y altitudes que varían entre los 40 y 1100 msnm, y pendiente regional que varía entre 0,5% y 1% de gradiente. Están limitadas al norte por las montañas que conforman la Ladera oeste de la Cordillera Occidental, la cual corresponde de igual manera al trazo de la Falla Calientes. Su relieve es ondulado, producto de la incisión de pequeñas e importantes quebradas sobre terrenos de edad Mioceno y depósitos detríticos de edad Plioceno-Cuaternario. Esta unidad geomorfológica es propicia para la ubicación y desarrollo de asentamientos importantes como la ciudad de Tacna y poblados de Pachía y Calientes ubicados en el río Caplina.

3.3.2. Cordillera Occidental

La Cordillera Occidental es una cadena montañosa de dirección NO-SE, con altitudes que oscilan entre los 4900 y 5200 m.s.n.m. En general presenta un relieve muy accidentado con pendientes fuertes, quebradas profundas y angostas, donde afloran rocas sedimentarias de origen marino, continental de edad Jurásico y rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de edad Cenozoico.

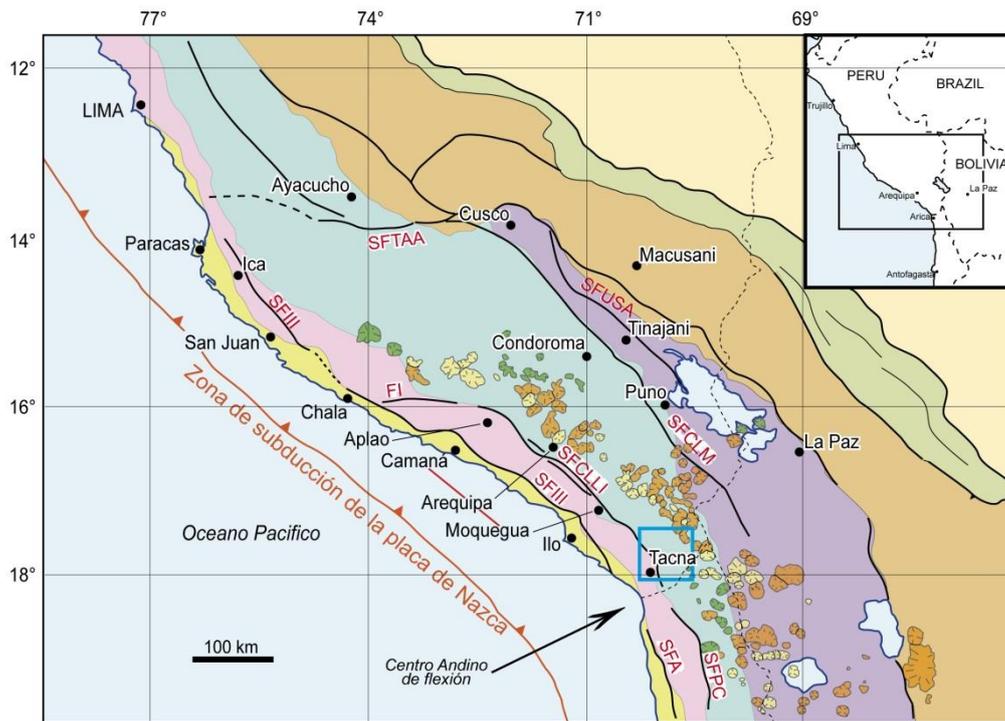


Figura 12: Dominios geomorfológicos y los principales sistemas de fallas en el Sur del Perú, en cuadro azul se muestra la ubicación del área de estudio. (Alván 2015).

3.4. CONTEXTO GEOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO

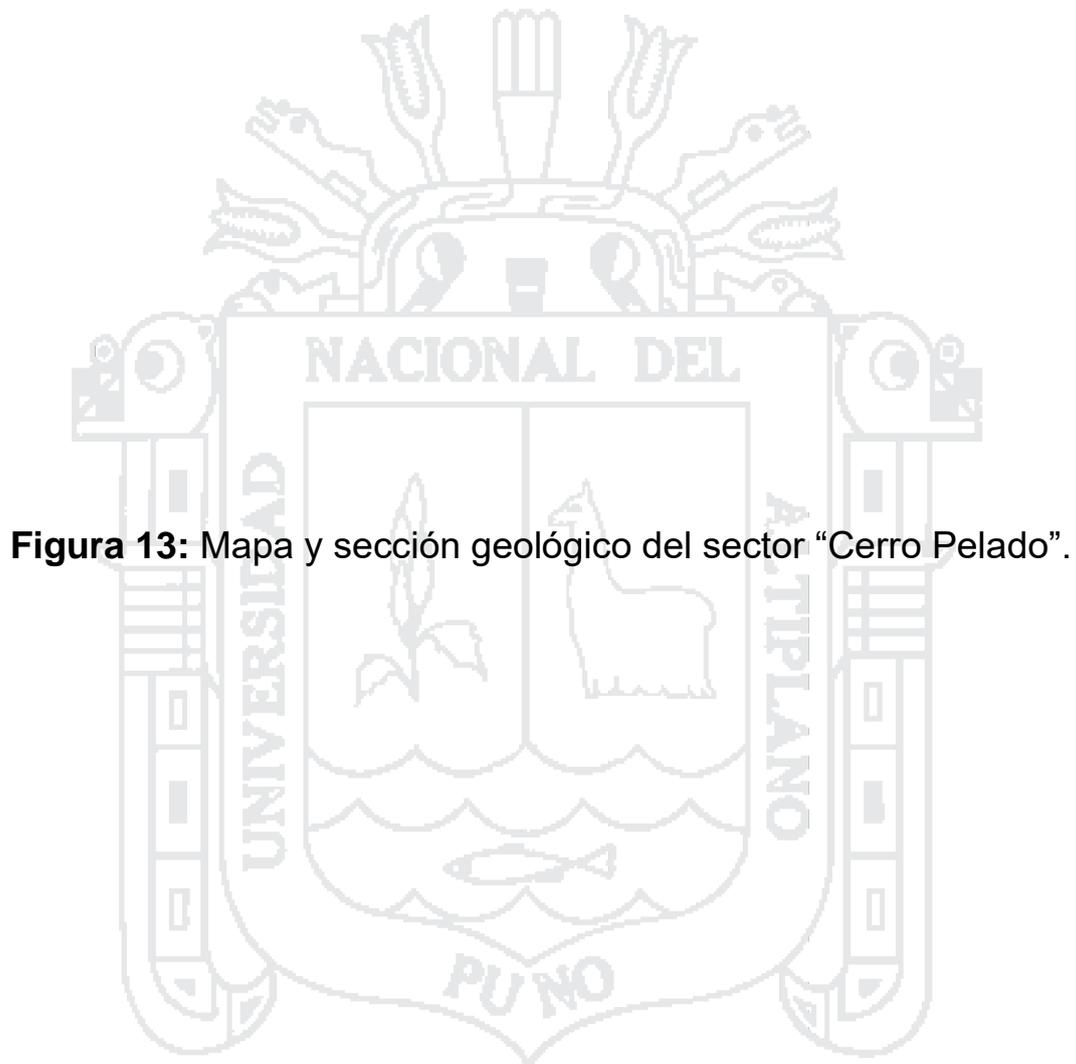
El área de estudio se encuentra entre los cuadrángulos de Pachía (36v) y Palca (36x), lado este del departamento de Tacna sucesiones estratigráficas similares a las reportadas en el Cuadrángulo de Arequipa (33s) por Jenks (1948) y Benavides (1962). Geomorfológicamente se encuentra abarcando parcialmente las Planicies Costaneras y la Cordillera Occidental. Las rocas de la Cordillera Occidental se encuentran afectadas estructuralmente por el desplazamiento del Sistema de Fallas Cincha - Lluta Incapuquio (Carlotto et al., 2009).

3.4.1. FORMACIÓN PELADO (Sinemuriano – Pliensbachiano).

Denominado así por Wilson & García (1962) por primera vez para escribir secuencias calcáreas en el Cerro Pelado, cuadrángulo de Palca 36x, las cuales

siguen una dirección general ~NO-SE y ~N-S. En esta tesis se describe a la Formación Pelado en los afloramientos de Cerro Palquilla (Quebrada Palquilla), Cerro Pelado yace en contacto erosivo sobre rocas volcánicas de la Formación Chocolate (Figura 13) y en Quebrada Ammos. Estos afloramientos están constituidos principalmente por facies carbonatadas de calizas tipo *mudstone*, *wackestone*, *packstone*, *grainstone*, *floatstone* las cuales presentan coloración gris blanquecina con tendencia a gris oscuro y contienen intercalaciones con canales de arenisca, los componentes esqueléticos consisten en ammonites, bivalvos principalmente (articulados y desarticulados).





3.4.2. FORMACION SOCOSANI (Toarciano-Bathoniano).

Fue considerada originalmente en Yura, departamento de Arequipa como "Formación" por Jenks W. (1948), describiendo calizas oscuras intercaladas con tufos en la parte inferior y lutitas en la parte superior. Al noreste de Pachía (Tacna), Wilson & García (1962) denominaron a esta unidad como Formación San Francisco. Monge & Cervantes (2000) denominaron a esta unidad como Formación Socosani con un espesor aproximado de 650 m, en virtud a sus similitudes en facies con la Formación Socosani del departamento de Arequipa. La Formación Socosani sobreyace a la Formación Chocolate en contacto generalmente erosivo en Arequipa, pero en Tacna es indiviso (Monge & Cervantes, 2000).

En esta tesis se describe a la Formación Socosani en los afloramientos de la Quebrada Tocuco. Está constituido por rocas carbonatadas principalmente tipo *mudstone*, *wackestone*, *packstone* estas presentan color gris oscuro característico, con algunos niveles de nódulos calcáreos en los estratos de caliza, además de presentar intercalaciones de niveles de lutitas, limolitas y canales de areniscas. Los componentes esqueletales consisten en ammonites, crinoideos y bivalvos del genero *Bositras* principalmente. El contacto de esta unidad litoestratigráfica con la Formación Puente (y/o Fm. Cachíos) es concordante, se puede apreciar en la Quebrada Tocuco (Figura 14).

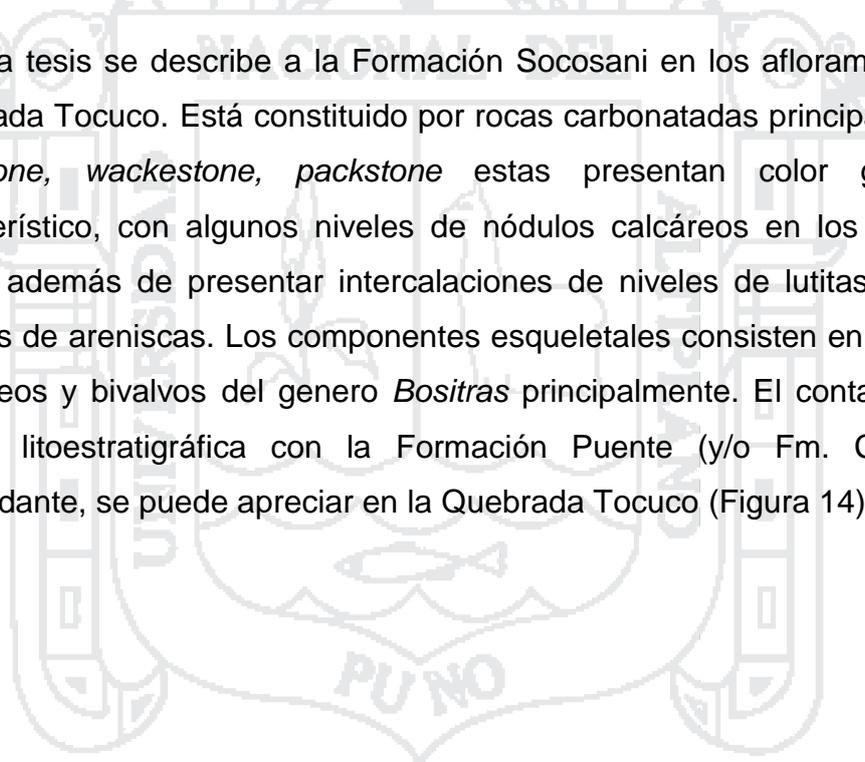
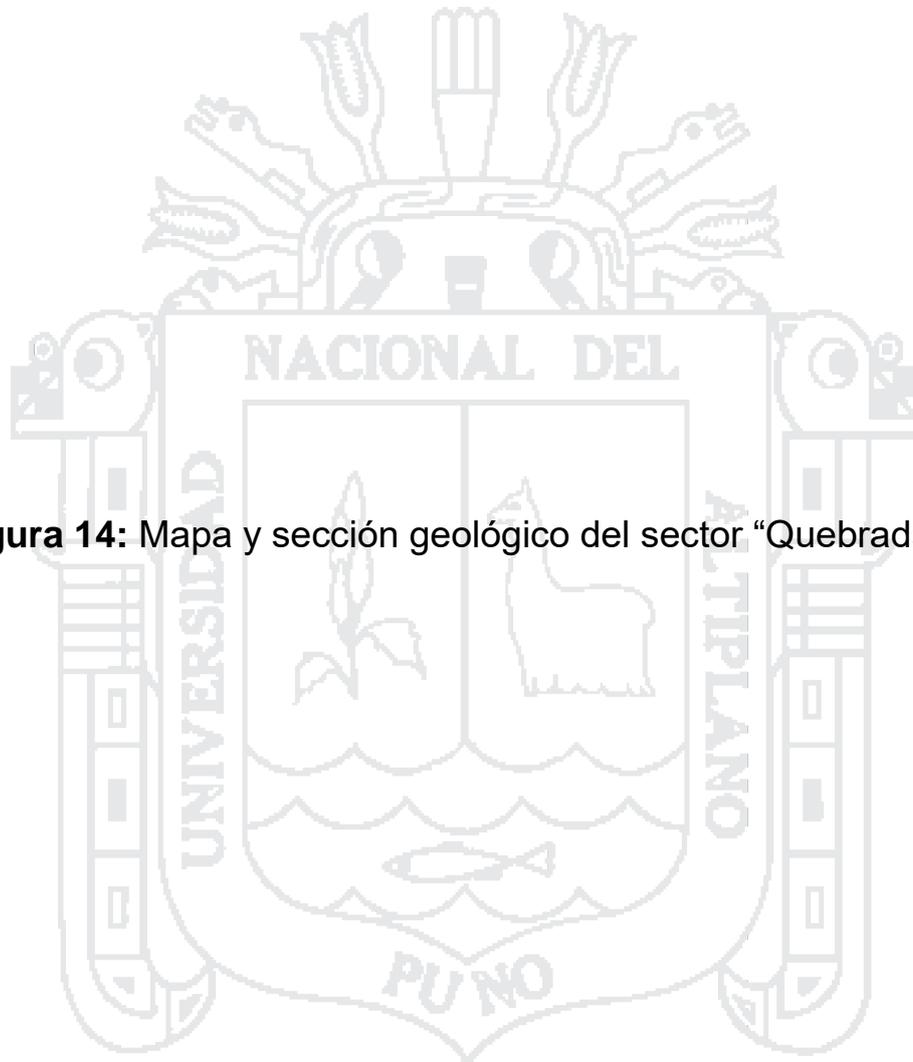


Figura 14: Mapa y sección geológica del sector “Quebrada Tocuco”.



CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se presenta resultados del estudio de las facies de rocas carbonatadas jurásicas en Tacna (sur de Perú). El objetivo es definir la evolución sedimentológica durante el Jurásico inferior a Jurásico medio (~201-145 Ma) partiendo del análisis sedimentológico. El principal aporte se centra en la definición del ambiente depositacional de las formaciones Pelado y Socosani (Monge & Cervantes; 2000), el cual aportará al entendimiento de la paleogeografía de la Cuenca Arequipa en Tacna. Para tal fin, se ha realizado los análisis sedimentológicos realizados en rocas carbonatadas que afloran en tres sectores principalmente a los alrededores de los pueblos de Pachía, Palquilla y Palca.

En este capítulo se describe en detalle las columnas estratigráficas levantadas en los principales afloramientos de rocas carbonatadas jurásicas se hallan concentrados en: (1) Quebrada Tocuco en Pachía, (2) Cerro Pelado en Palca, (3) Quebrada Ammos en Palca, (4) Quebrada Palquilla en Palquilla (Figura 15).

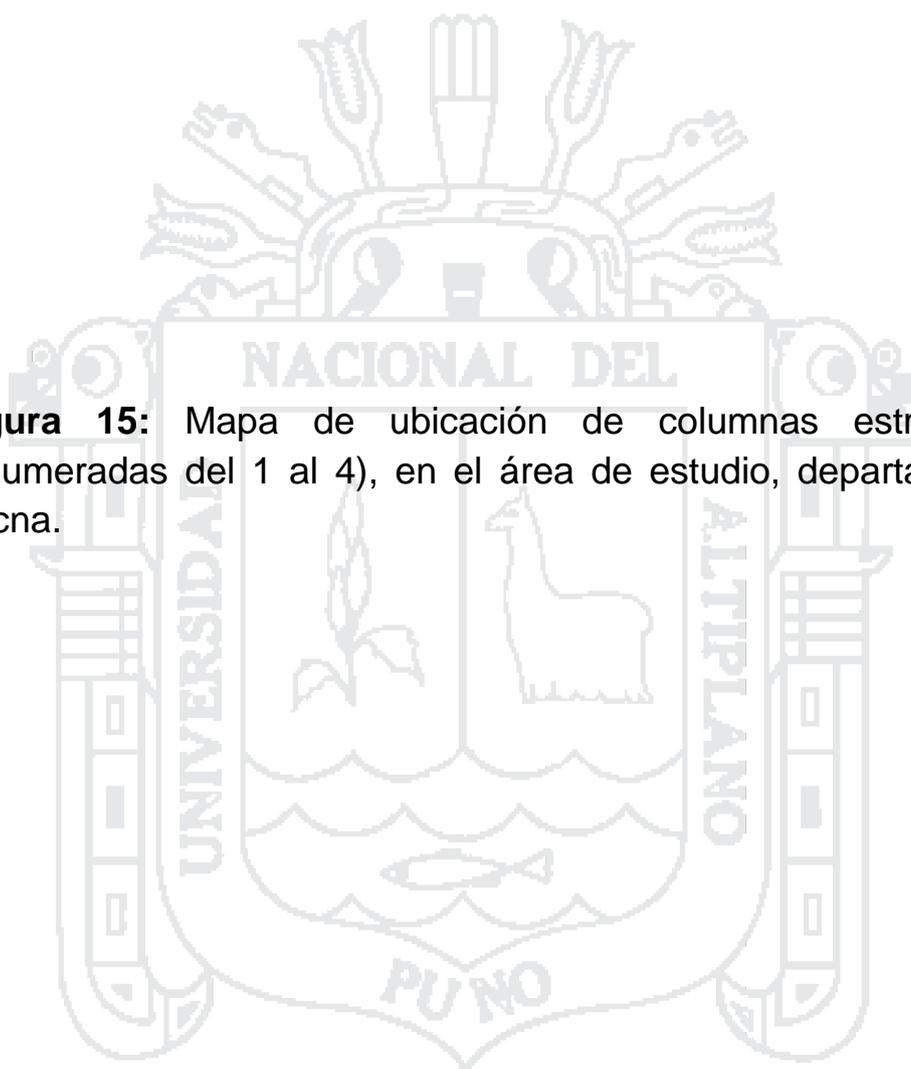
Los afloramientos donde se hallan los estratotipos i.e. Cerro Pelado y Pampas de San Francisco tradicionalmente han sido definidos con su nomenclatura respectiva (e.g. Wilson & García, 1962); sin embargo, numerosos trabajos posteriores sacaron a la luz que en tales estratotipos puede existir más de una unidad litoestratigráfica, y las observaciones de campo para esta tesis así lo comprueban. Por ejemplo, en el Cerro Palquilla es posible tener a ambas la Formación Pelado y la Formación Socosani. Por tal motivo, preliminarmente nombramos a las calizas de la parte más inferior de nuestro esquema estratigráfico como “Unidad A”, mientras las calizas que corresponden a la parte

más superior del mismo esquema se denominará por ahora “Unidad B”, hasta que los análisis de facies sedimentarias ayuden a definir un correcto esquema estratigráfico.

Según esta tesis, la Formación Pelado abarca el intervalo comprendido entre el Sinemuriano y el Toarciano (Salinas; 1985). La Formación Socosani, comprende del Aaleniano al Batoniano (cf. Salinas; 1985). A continuación, se describe sus facies sedimentarias a detalle.



Figura 15: Mapa de ubicación de columnas estratigráficas (enumeradas del 1 al 4), en el área de estudio, departamento de Tacna.



4.1. ANÁLISIS DE FACIES

La determinación de las facies se basó tanto en la información obtenida en los afloramientos durante el trabajo de campo y en el estudio petrográfico a detalle de 16 láminas delgadas. Tanto la determinación del tipo de facies como el ambiente depositacional se estableció de acuerdo a las características texturales y componentes carbonatados (peloides, intraclastos, bioclastos, etc.) en base a las clasificaciones de Dunham (1962) y a las estructuras sedimentarias de las rocas.

4.1.1. Sector Quebrada Tocuco, Pachía

Para el estudio de facies, se levantó la columna estratigráfica en la Quebrada Tocuco ubicado a ~15 km al noreste del pueblo de Pachía en línea recta, e inicia en las coordenadas 385612E, 8027162N, UTM WGS84, presenta un espesor de ~370 metros (Figura 16), para la Unidad “B”, se ha reconocido cuatro facies, denominándolos con las letras “Q, R, S, T” (Figura 27), de acuerdo a su composición litológica y estructura sedimentarias: A continuación, se presenta los resultados de cada una de ellas.



Figura 16: Vista al suroeste de la sección “Quebrada Tocuco”.

4.1.1.1. Facies Q de *Wackestone - Mudstone*

El análisis de esta facies consiste en calizas *wackestone* color gris oscuro con niveles de caliza *mudstone* de color gris oscuro, los estratos están en capas de 5 a 10 cm de espesor presentan nódulos calcáreos (\varnothing 10cm). Presenta estructura sedimentaria tipo laminación paralela (Figura 17).

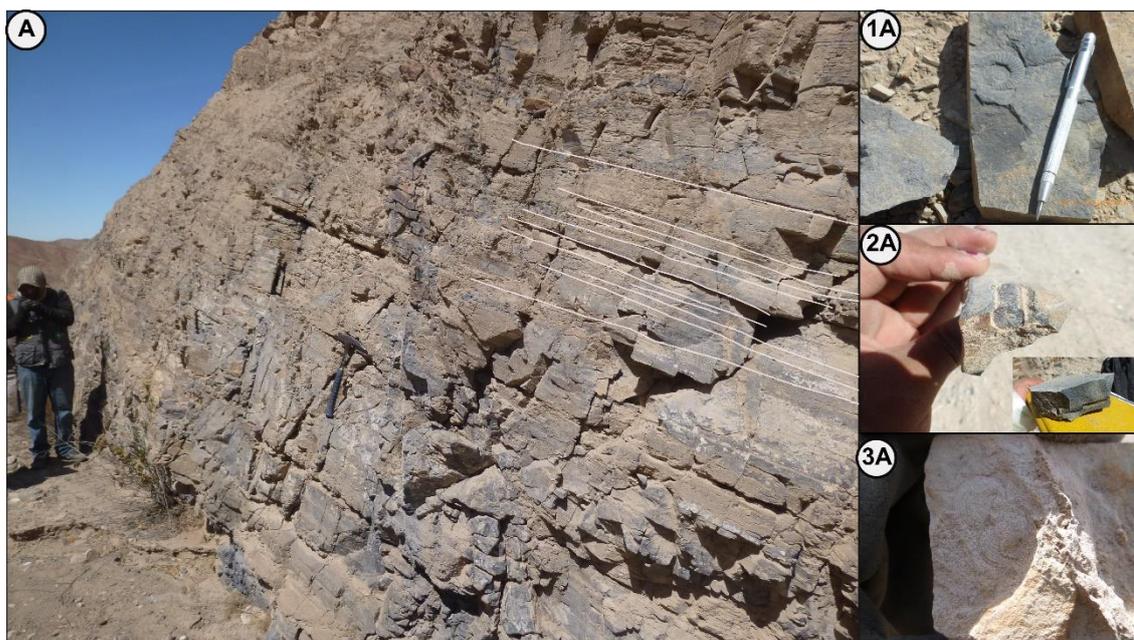


Figura 17: Facies "Q". **A)** Foto de afloramiento de la facies "Q", se indica las laminaciones paralelas en líneas blancas. **1A)** Se observa fósil de ammonites. **2A)** Se observa fósil de crinoideos. **3A)** Se observa fósil de bivalvos del género *Bositra*.

A. Petrografía:

La facies se caracteriza petrográficamente por la muestra GR41A-15-249, donde los resultados del estudio petrográfico, se muestra en el Anexo A1.

Mudstone: Roca sedimentaria carbonatada, textura lodosa, con soporte de matriz ~83%. Los bioclastos presentes en estas facies están constituidos por crinoideos ~7% (alrededor de 100 μm de diámetro en promedio), reemplazados por calcita (micrítica y espática), granos detríticos (cuarzo, feldespato) ~5%, minerales opacos ~5% dispersos en la matriz (Figura 18).

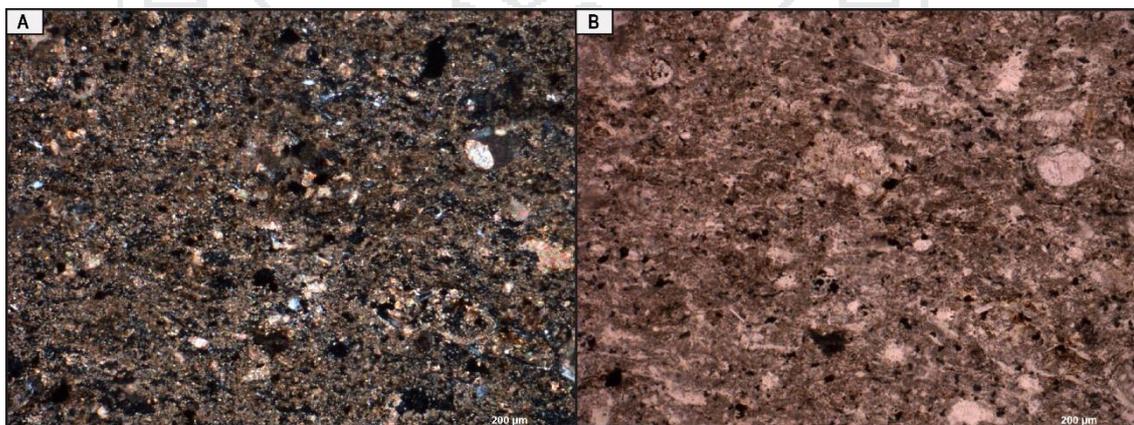


Figura 18: *Mudstone* con bioclastos de crinoideos, minerales opacos dispersos en la matriz. **A)** muestra "GR41A-15-249" vista en nicoles cruzados. **B)** muestra "GR41A-15-249" vista en nicoles paralelos.

Muestra GR41A-15-252, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A2.

Grainstone: Roca sedimentaria carbonatada, textura granular, con soporte de granos. Los bioclastos presentes en estas facies son crinoideos ~25%, briozoarios (alrededor de 200µm de diámetro en promedio) ~ 1%, foraminíferos (alrededor menor de 100µm de diámetro en promedio) ~ 5% reemplazados por calcita (micrítica, espática), granos de carbonatados ~ 43%, arcillas (criptocristalino) y/o materia orgánica? ~ 20% junto a la matriz, granos detríticos (cuarzo) ~1%, minerales opacos ~ 5% (Figura 19).

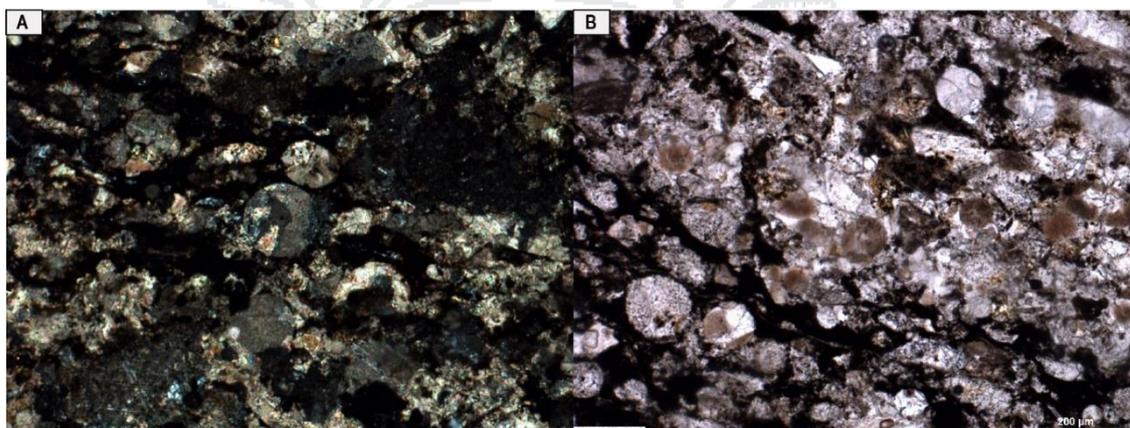


Figura 19: A) Grainstone con crinoideos (Muestra GR41A-15-252, NX). **B) Grainstone** con foraminíferos y crinoideos dispersos en la matriz (GR41A-15-252, NP, 10X).

Muestra GR41A-15-253, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A3.

Mudstone: Roca sedimentaria carbonatada, textura lodosa, con soporte de matriz ~ 90%. Los bioclastos están constituidos por crinoideos ~2%, ammonite (alrededor de 2.52 mm de diámetro promedio) ~1%, reemplazados por carbonatos, minerales opacos ~ 5% y óxidos ~ 2% (Figura 20).

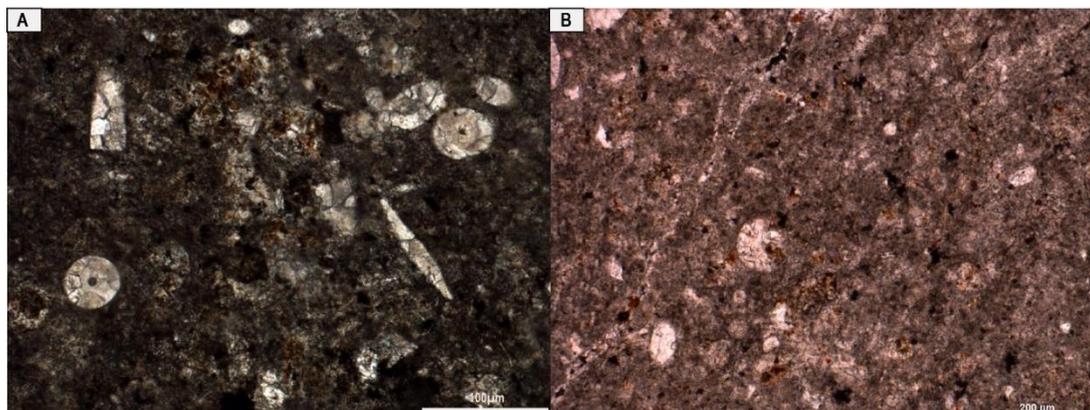


Figura 20: A) Mudstone con crinoideos (Muestra GR41A-15-253, NX, 20X). **B) Muestra GR41A-15-253, NP, 10X.**

4.1.1.2. Facies R de Limolitas - Margas - *Wackestone*

El análisis de esta facies consiste en margas carbonosas de color gris oscuro intercalado con limolitas carbonosas calcáreas también de color gris oscuro, además con algunos niveles de caliza *wackestone*, *grainstone* y lutitas, en los niveles caliza *wackestone* se presentan nódulos calcáreos de hasta 1 metro de diámetro. Los componentes esqueléticos consisten en bivalvos del género *Bositra*, ammonites. Los estratos están intercalados de 5 a 10 cm de espesor. Presenta estructuras sedimentarias tipo laminación paralela (Figura 21).

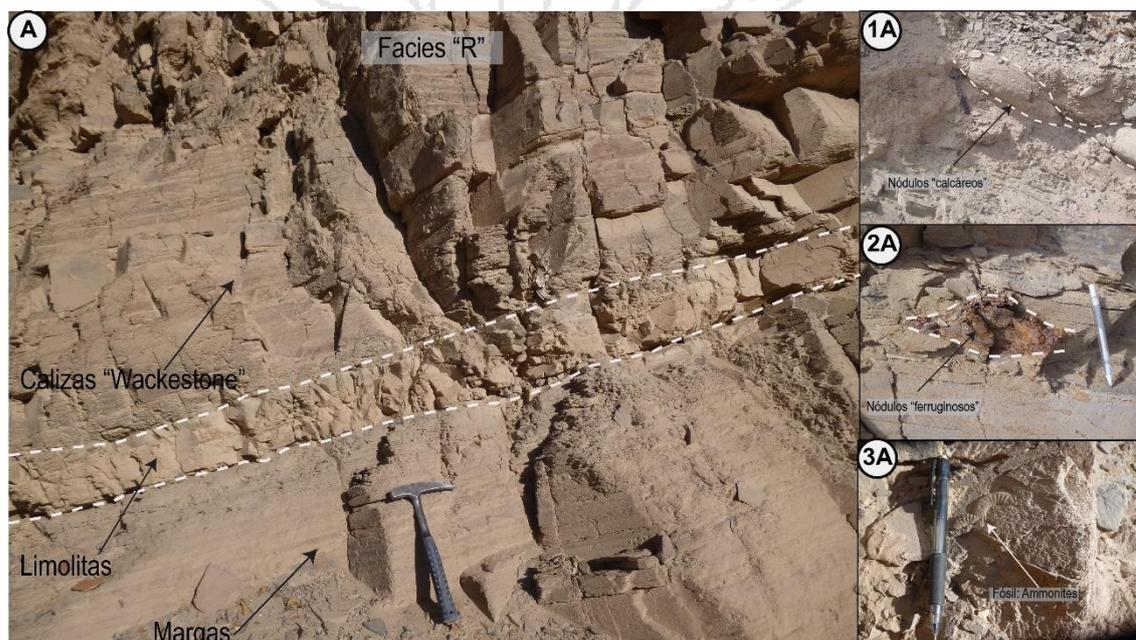


Figura 21: Facies "R". **A)** Foto de afloramiento de la facies "R", se observa. **1A)** Se observa nódulos calcáreos. **2A)** Se observa nódulos "ferruginosos". **3A)** Se observa fósil de ammonites.

A. Petrografía:

Muestra GR41A-15-260, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A4.

***Grainstone*:** Roca sedimentaria carbonatada, textura granular, con soporte de granos, granos carbonatados ~80%, matriz ~5%. Los bioclastos están constituidos por crinoideos ~2% reemplazados por calcita micrítica y espática, minerales opacos ~10%, granos detríticos (cuarzo) ~3%, disperso en la matriz. Se ha reconocido venas rellenas por calcita micrítica – espática hasta dos generaciones de similar composición y diferente espesor (Figura 22).

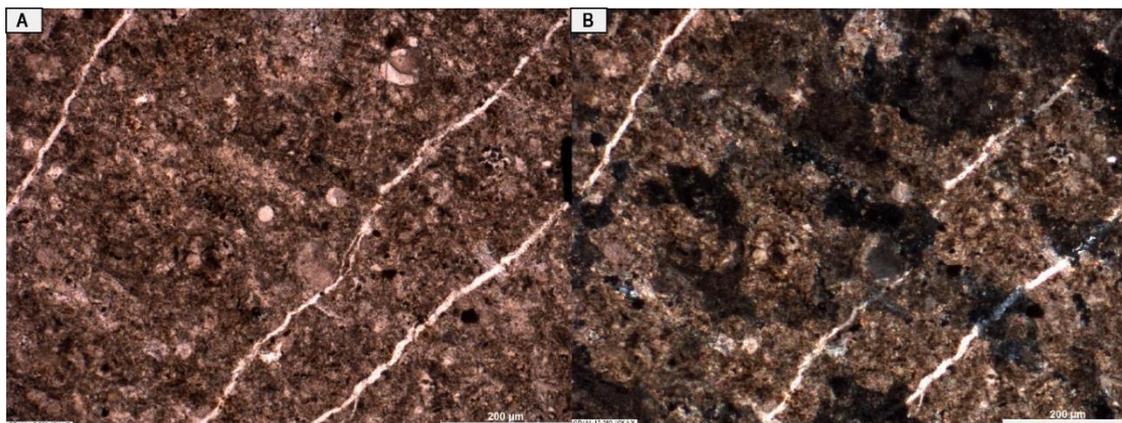


Figura 22: A) Grainstone: con crinoideos (Muestra GR41A-15-260, NP, 10X). **B)** (GR41A-15-260, NX, 10X).

Muestra GR41A-15-259, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A5.

Caliza areno-limolítica: Roca carbonatada detrítica, textura lodosa, con soporte de matriz ~30%. Los bioclastos consiste en crinoideos ~3%, granos detríticos (cuarzo, feldespatos) ~20%, granos carbonatados ~20%, arcillas ~25%, minerales opacos ~2%, la matriz se encuentra impregnado por óxidos de hierro (Figura 23).

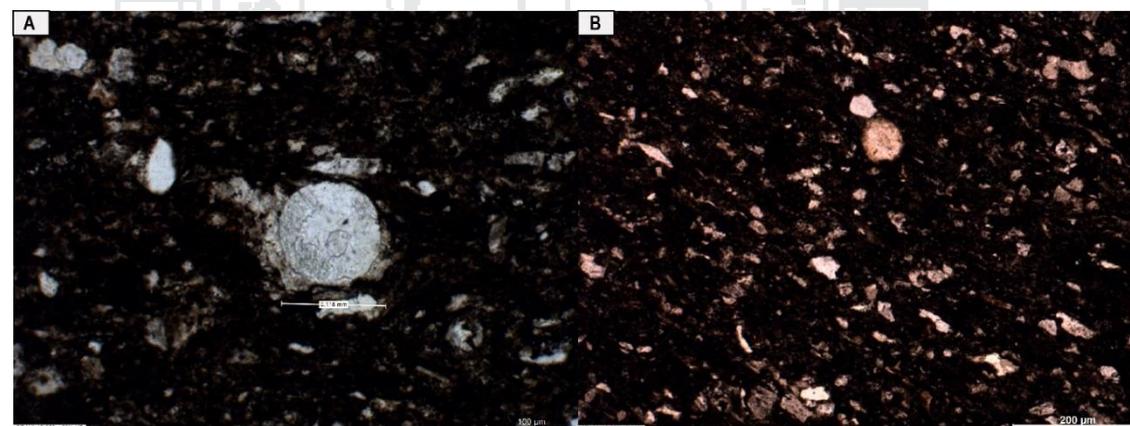


Figura 23: A) Detalle de crinoideo inmerso en la matriz, de dimensión 0.116mm de diámetro (Muestra GR41A-15-259, NP, 20X). **B)** Se muestra fragmentos y granos carbonatados inmerso en la matriz (GR41A-15-259, NX, 10X).

4.1.1.3. Facies S de *Wackestone*

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *wackestone* color gris oscuro con algunos niveles de caliza tipo *mudstone*. Los estratos están en capas de 5 a 6 cm. Presenta estructura sedimentaria tipo laminación paralela, presentan nódulos calcáreos (\varnothing 40 cm), además presenta abundantes bivalvos del género *Bositra* en el nivel 285m de la columna estratigráfica (Figura 24).

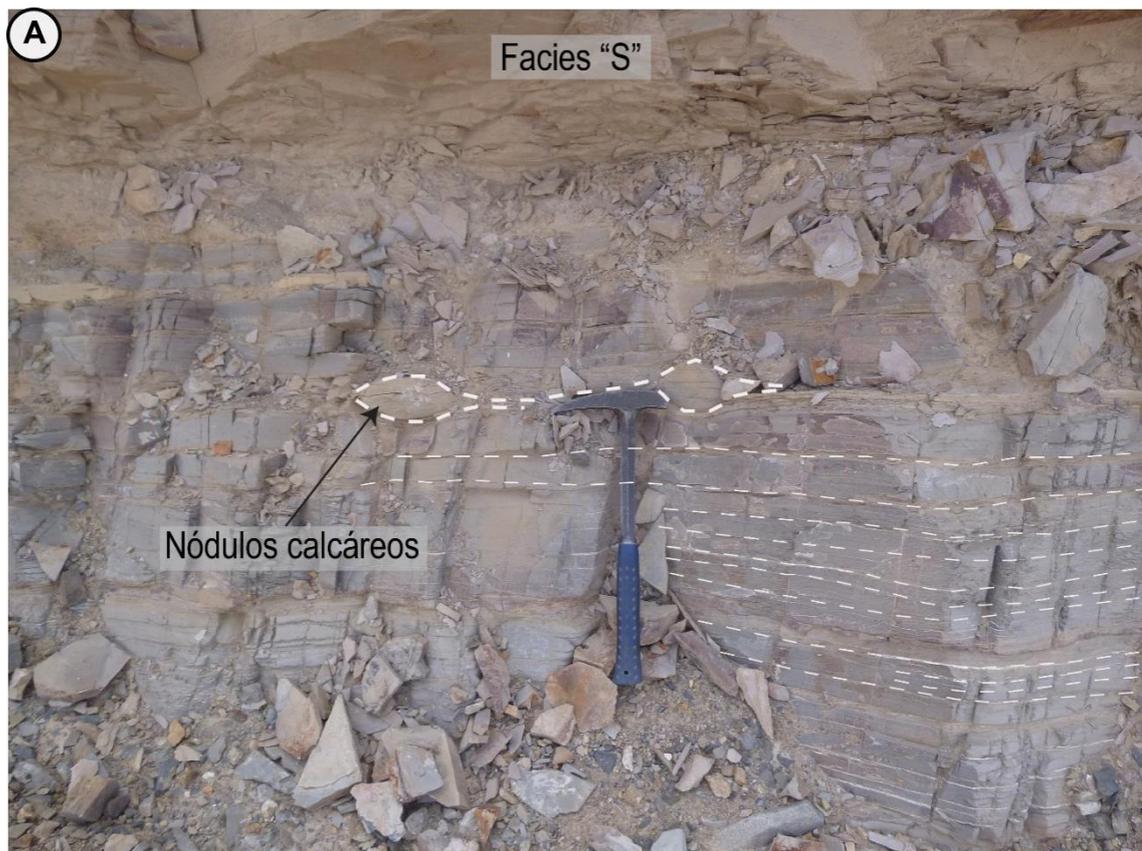


Figura 24: Facies "S". **A)** Foto de afloramiento de la facies "S", se observa nódulos calcáreos elongados y laminaciones paralelas (líneas blancas).

4.1.1.4. Facies T de Limolitas - Lutitas

El análisis de esta facies consiste en lutitas con intercalaciones de limolitas color gris clara, la predominancia de limolitas calcáreas es notorio en estas facies, además de presentar nódulos de limolitas color gris claro de hasta 1 m de diámetro, además presenta algunos niveles de calizas tipo *wackestone* (Figura 25).



Figura 25. Facies "T". A) Foto de afloramiento de la facies "T", se observa nódulos elongados hasta 1 m de diámetro.

A. Petrografía:

Muestra GR41A-15-263, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A6.

Wackestone: Roca sedimentaria carbonatada, textura lodosa, con soporte de matriz ~ 80%. Los bioclastos consisten de crinoideos ~ 3% reemplazados por calcita micrítica y espática, granos detríticos (cuarzo) ~5%, minerales opacos ~10%. Se ha reconocido hasta tres generaciones de venas rellenas por calcita micrítica – espática ~ 2% (Figura 26).

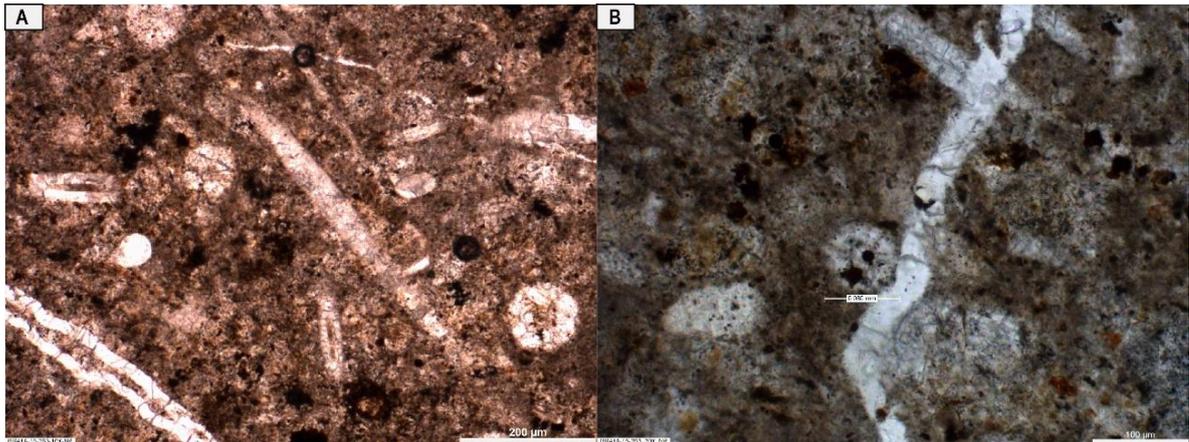


Figura 26: A) Detalle de bioclastos de crinoideos, cortes transversales de espinas de equinoideo inmerso en la matriz (Muestra GR41A-15-263, NP, 10X). **B)** *Wackestone* de crinoideo, se muestra venas compuesto de calcita recristalizada, con espesor de hasta ~ 0.043mm. (GR41A-15-263, NP, 20X).



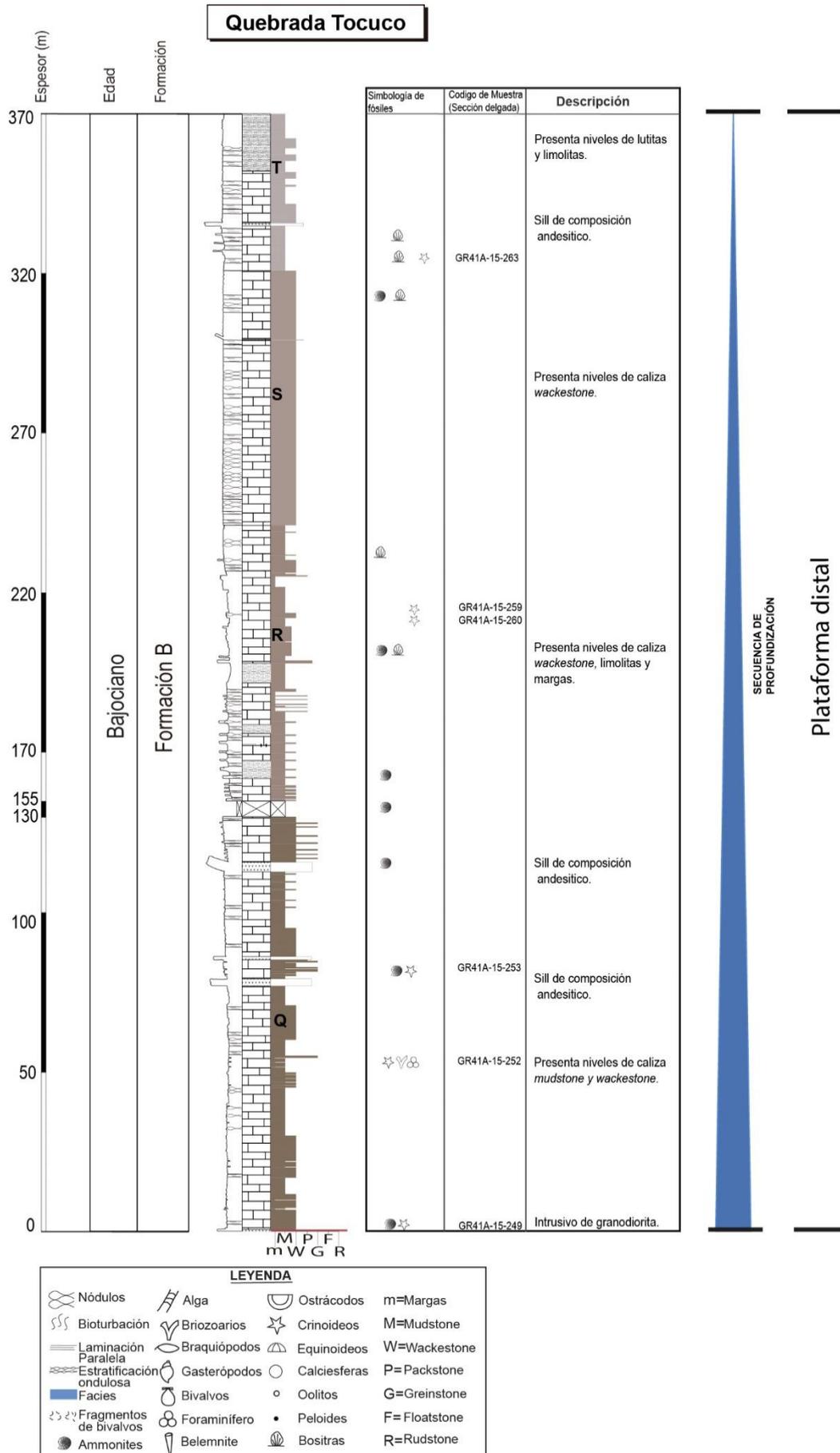


Figura 27: Columna estratigráfica del sector "Quebrada Tocuco".

Cuadro 2: Resumen y principales características de las facies identificadas en “Quebrada Tocuco” de la Unidad “B”.

Facies Color/Codigo	Fosil / Estructura Sedimentaria	Textura	Color	Ciclos de Profundización y Somerización	Ambiente Deposicional
T	Laminaciones paralelas. Fosil: bositras	Limolita Lutita	Gris claro	Profundización	Plataforma distal
S	Laminaciones paralelas. Fosil: bositras	Wackestone	Gris oscuro		
R	Laminaciones paralelas. Fosil: bositras	Limolitas Margas Wackestone	Gris oscuro		
Q	Laminaciones paralelas. Fosil: ammonites, crinoideos	Mudstone Wackestone	Gris oscuro		

4.1.2. Sector Cerró Pelado, Palca

Para el estudio de las facies, se tomó en consideración la columna estratigráfica de cerro Pelado está ubicado ~7 km en línea recta al sureste del pueblo de Palca (Figura 28), e inicia con las coordenadas (403988E, 8030504N, UTM WGS84). Para la unidad “A” se ha reconocido nueve facies denominados con las letras “A, B, C, D, E, F, G, H, I”, se detalla cada una ellas a continuación (Figura 40).

Figura 28: Vista al sur de los afloramientos del “Cerro Pelado”. La flecha entrecortada muestra la dirección de la sección estratificada levantada.



4.1.2.1. Facies H de *Packstone* – *Mudstone*

El análisis de esta facies consiste de calizas tipo *packstone* de color gris oscuro a gris blanquecino (por alteración supérgena) con niveles *mudstone* y yeso fibroso. En los niveles de caliza tipo *mudstone* se encuentra nódulos calcáreos de composición *mudstone*. Los componentes esqueléticos consisten en fragmentos de ammonites. La estratificación es de forma planar discontinua, mayormente en capas de 10 a 30 cm de espesor (Figura 29).



Figura 29: Foto de afloramiento de la facies "H".

4.1.2.2. Facies I de *Mudstone* – *Wackestone* - *Packstone*

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *mudstone* con niveles de *wackestone* y *packstone* color gris oscuro, en estratos de 10-30 cm, presenta bioturbación y superficie cárstica, la estratificación es de forma planar continua (Figura 30).



Figura 30: Foto de afloramiento de la facies "I", se observa la estratificación de forma planar continua, se observa en la margen derecha a detalle la bioturbación generado por la actividad biológica.

4.1.2.3. Facies G de *Floatstone* – *Rudstone* - *Mudstone*

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *rudstone* a *floatstone* compuestos por fragmentos de bivalvos. Estas rocas son de color gris muy oscuro, con algunas intercalaciones de calizas tipo *mudstone*. Los componentes esqueléticos consisten en abundantes fragmentos de bivalvos y ammonites. La estratificación es de forma planar discontinua de 10 cm de espesor (Figura 31).

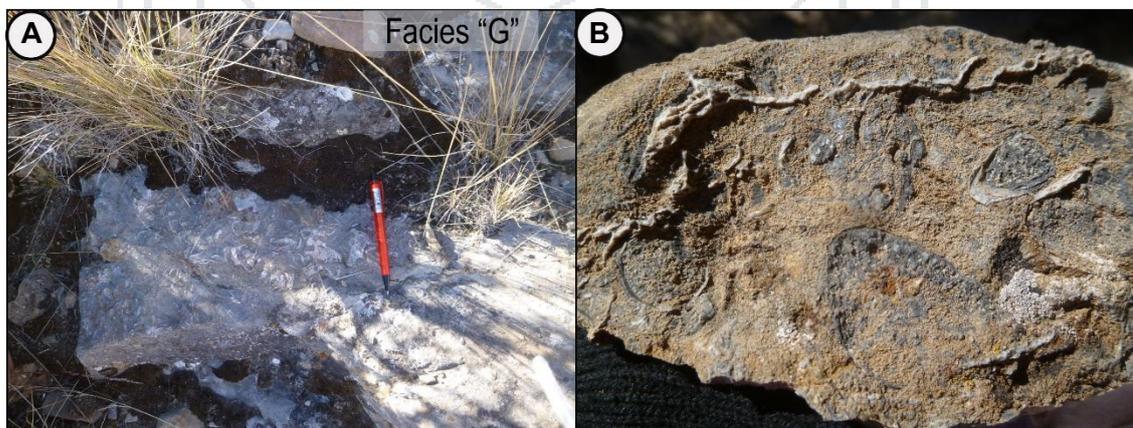


Figura 31: A) y B). Vista del afloramiento en situ de las facies "G", se muestra calizas tipo *rudstone*. Note la abundancia de macrofósiles de bivalvos mayores a 2mm de longitud.

4.1.2.4. Facies A de Lutitas – Limolitas

El análisis de esta facies consiste en intercalaciones de limolitas, lutitas color gris oscura a pardo, presenta estructuras sedimentarias tipo laminación paralela. Los componentes esqueléticos consisten de ammonites (Figura 32).



Figura 32: Foto de afloramiento de la facies "A", se observa la litología de lutitas y limolitas.

4.1.2.5. Facies B de *Wackestone*

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *wackestone*, con abundantes nódulos calcáreos (\varnothing max 20cm), de color gris oscuro. Estas calizas presentan olor fétido, y se puede observar lentes de areniscas cuarzosas entre los niveles de caliza, presentan en estratos de 10 y 15cm (Figura 33).



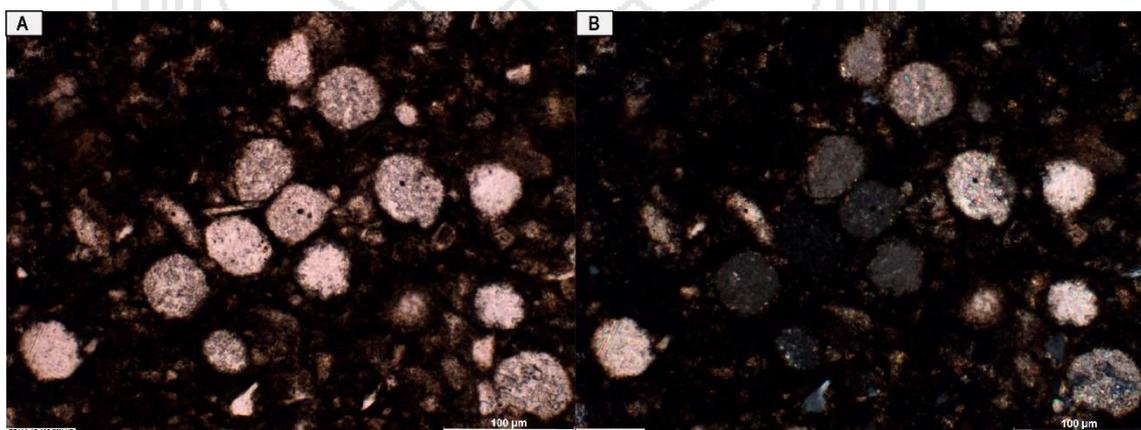
Figura 33: Foto de afloramiento de la facies "B". A) Se observa los nódulos calcáreos (\varnothing 20cm).

A. Petrografía:

La facies se caracteriza petrográficamente por la muestra: GR41A-15-183, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A7.

Wackestone: Presenta textura matriz soportado, constituido por bioclastos crinoideos ~15%, espículas de equinoideo ~1%, bioclastos no reconocidos de forma esférica reemplazados por carbonatos y sílice (?calciesferas) ~1%, arcillas ~8%, granos detríticos ~5%, en una matriz micrítica y espática ~70% (Figura 34).

Figura 34: *Wackestone* bioclástico diferentes vistas de la muestra GR41A-15-183. A) Izquierda:



vista en nicolas paralelos en 20x. B) Derecha: vista en nicolas cruzados en 20x.

Muestra: GR41A-15-184, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A8.

Wackestone: Roca sedimentaria carbonatada, textura granular, con soporte de matriz, con espacios rellenos por matriz micrítica. Presenta bioclastos de calciesferas ~3%, crinoideos ~5% reemplazados por calcita cristalizado (micrítica, espática), granos carbonatados ~85%, además presenta granos detríticos de cuarzo ~5%, y minerales opacos ~2% dispersos en la matriz. También presenta extraclastos de caliza tipo *packstone* (Figura 35).

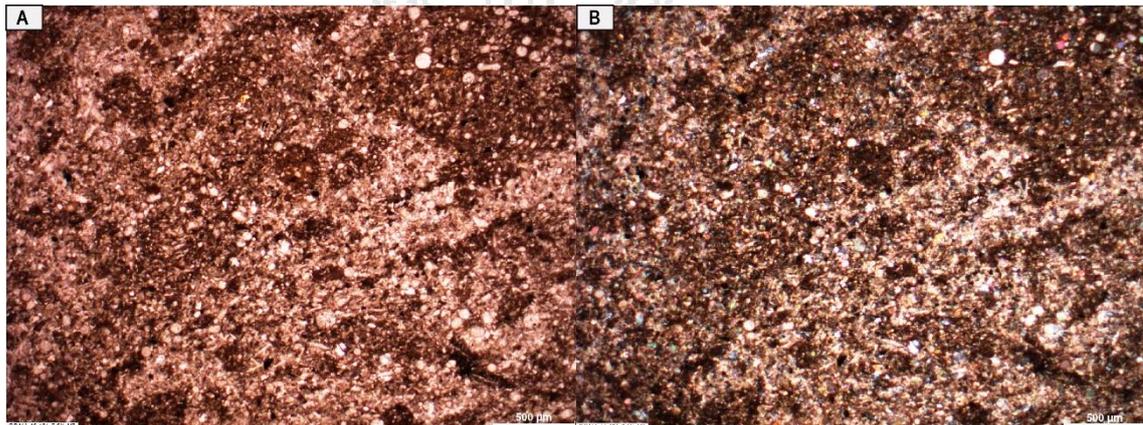


Figura 35: *Packstone* bioclástico diferentes vistas de la muestra GR41A-15-184 **A)** Izquierda: vista en nicoles paralelos en 2.5x. **B)** Derecha: vista en nicoles cruzados en 2.5x.

4.1.2.6. Facies C de *Wackestone* – *Mudstone*

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *wackestone* intercalados con algunos niveles de *mudstone* en estratos de 15 cm de espesor. Los componentes esqueléticos en ammonites. Presenta estructuras sedimentarias tipo laminación paralela (Figura 36).



Figura 36: Foto de afloramiento de la facies "C", se observa la estratificación de forma planar continua.

4.1.2.7. Facies D de *Wackestone* – *Mudstone* nódular

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *wackestone* con niveles de *mudstone*, color gris oscuro. No se observa componentes esqueléticos. Presenta estratificación de forma nódular paralela (Figura 37).



Figura 37: Foto de afloramiento de la facies "D", se observa la estratificación de forma nódular paralela.

4.1.2.8. Facies E de *Mudstone*

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *mudstone* color gris oscuro, caracterizada por el contenido de pirita diseminada. Presenta estratificación de forma nódular paralela de espesor de 10 cm, con nódulos calcáreos (\varnothing 10-15 cm). Además, presenta estructuras sedimentarias tipo laminación paralela. No se observa componentes esqueléticos (Figura 38).



Figura 38: Foto de afloramiento de la facies "E", se observa la estratificación de forma nódular paralela.

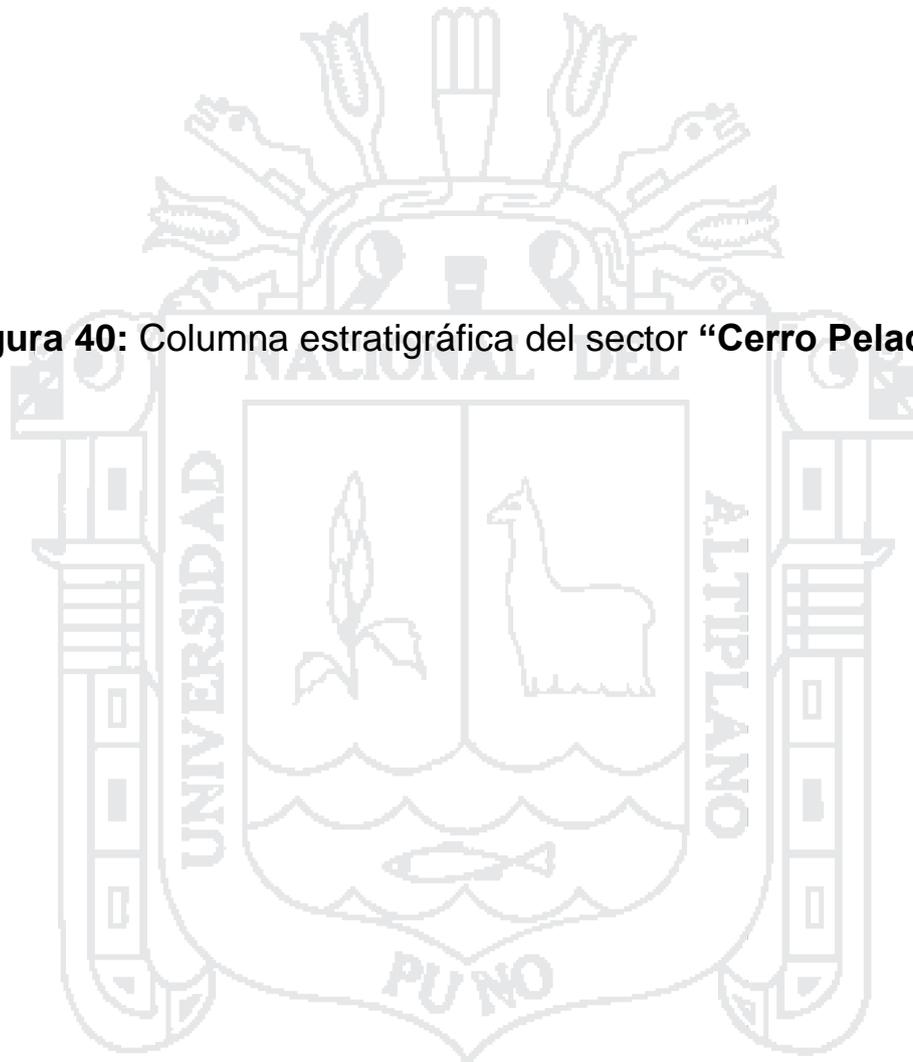
4.1.2.9. Facies F de *Wackestone - Mudstone*

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *wackestone* con niveles de *mudstone*, color gris oscuro. Presenta componentes esqueléticos de ammonites (desarticulados). Además, presenta estratificación paralela de forma continua de espesores de 5 a 30cm (Figura 39).



Figura 39: Vista del afloramiento de la Facies "F", se observa la estratificación de forma continua paralela.

Figura 40: Columna estratigráfica del sector “Cerro Pelado”.



Cuadro 3: Resumen y principales características de las facies identificadas en “Cerro Pelado” de la Unidad “A”.

Facies Color/ Código	Fosil / Estructura Sedimentaria	Textura	Color	Ciclos de Profundización y Somerización	Ambiente Deposicional
I	Laminaciones paralelas.	Mudstone Wackestone Packstone	Gris oscuro	Somerización	Plataforma proximal
H	Estratificación plana discontinua.	Packstone Mudstone	Gris oscuro a gris blanquecino	Profundización	
G	Fosil: fragmentos de bivalvos y ammonites.	Floatstone Rudstone Mudstone	Gris oscuro	Somerización	Plataforma distal
F	Estratificación continua paralela Fosil: ammonites.	Mudstone Wackestone	Gris oscuro	Profundización	
E	Estratificación nodular paralela.	Mudstone	Gris oscuro	Somerización	
D	Estratificación nodular paralela.	Mudstone Wackestone	Gris oscuro		
C	Estructura sedimentaria tipo laminación paralela.	Mudstone Wackestone	Gris oscuro	Profundización	
B	Presenta abundantes nódulos calcareos.	Wackestone	Gris oscuro	Somerización	
A	Estructura sedimentaria tipo laminación paralela.	Lutita Limolita Lutita	Gris oscuro a pardo.		

4.1.3. Sector Quebrada Ammos, Palca

Para el estudio de facies, se levantó una columna estratigráfica en la Quebrada Ammos (Figura 41), la cual está ubicada ~1 km al suroeste del pueblo de Palca en línea recta, e inicia en las coordenadas 397901E, 8033182N, UTM WGS84. Para la unidad estratigráfica de la Unidad “A” se ha reconocido dos facies sedimentológicas, que se ha denominado con las letras “F y G”. A continuación, se detalla cada una de ellas (Figura 47).



Figura 41: Vista al noroeste de la sección "Quebrada Ammos". La flecha entrecortada indica la dirección de la sección estratigráfica levantada.

4.1.3.1. Facies F de *Wackestone* – *Mudstone*

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *wackestone* y *mudstone*, color gris oscuro a gris verdoso, presenta componentes argilaceos. Los estratos presentan espesores de 0.6m-1m. Presenta estratificación de forma ondulada paralela (Figura 42).



Figura 42: A) Vista de afloramiento de la facies "F".

4.1.3.2. Facies G de *Floatstone* – *Wackestone* – *Packstone*

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *floatstone* de bivalvos y ammonites y calizas tipo *wackestone*, color gris negro. Presenta superficie de bioturbación. Además, presenta algunos niveles de roca volcánica color gris blanquecina compuesta cristales de plagioclasas ~35%, cuarzo <5%, matriz calcárea ~20%, micas ~5% y máficos ~30% su espesor varia de 3 a 5 cm. Presenta estructura sedimentaria tipo laminaciones paralelas. Presenta estratos de forma continuos paralelos de 10 a 30cm y nódulos de calcáreaos en algunas capas. Los componentes esqueléticos consisten en fragmentos de ammonites, bivalvos y belemnites (Figura 43).

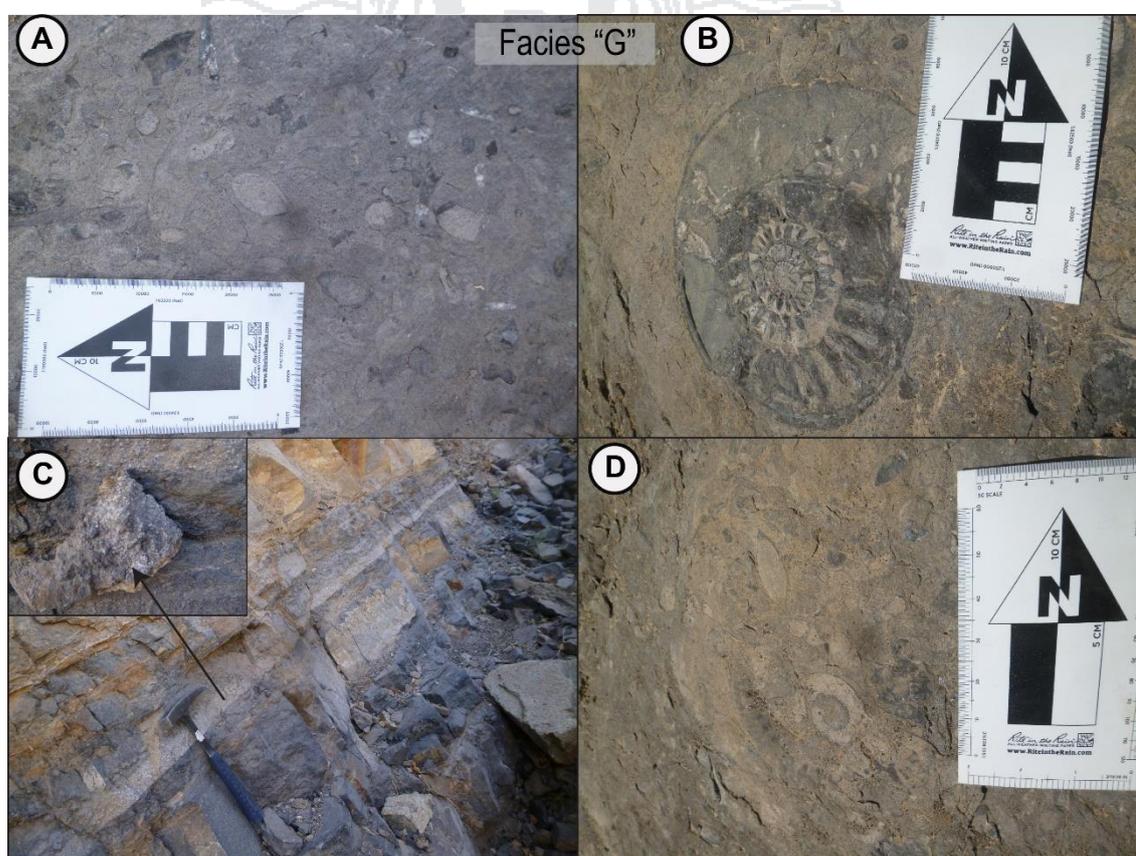


Figura 43: **A)** Se observa la variedad de bioclastos de bivalvos y ostrácodos en caliza tipo *Floatstone*. **B)** Se observa fósil de ammonites de 30cm diámetro aproximadamente. **C)** Se observa el nivel volcánico de 5cm de espesor aproximadamente. **D)** Caliza tipo *Floatstone* de ammonites y bivalvos.

A. Petrografía:

La facies se caracteriza petrográficamente por la muestra GR41A-15-87, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A9.

Packstone: Roca sedimentaria carbonatada, textura granular, con soporte de granos, constituido esencialmente por granos de calcita micrítica y espática ~50%, detritos (feldespato, cuarzo) ~2%. Los bioclastos se presentan en restos

completos y fragmentos de esqueletos ostrácodos ~20%, protoconchas de ammonitella (~5%), bivalvos ~5%, minerales opacos ~10%, cristales de epidota ~3%, roca presenta impregnación con arcillas ~5% (Figura 44).

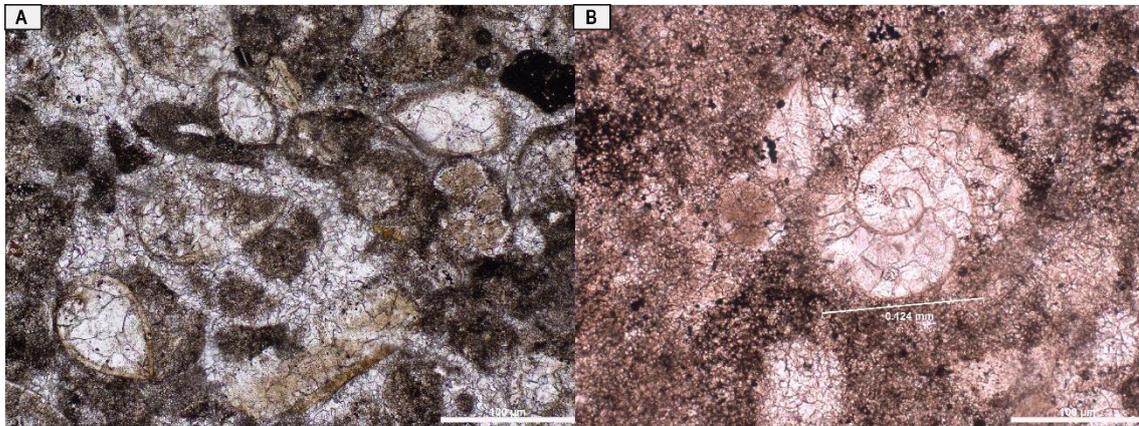


Figura 44: A) Packstone de ostrácodos inmerso en la matriz (Muestra GR41A-15-87, NP, 20X). **B) Bioclasto** de protoconcha de ammonitella con espesor de hasta ~ 0.124mm de diámetro (GR41A-15-87, NP, 20X).

Muestra: GR41A-15-218, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A10.

Packstone: Roca sedimentaria carbonatada, textura granular, con soporte de granos ~15%. Los bioclastos consisten en calciesferas ~15%, crinoideos ~20%, concha de bivalvos pelágicos ~5%, granos detríticos (cuarzo, feldespato) ~10%, arcillas ~ 35% (Figura 45).

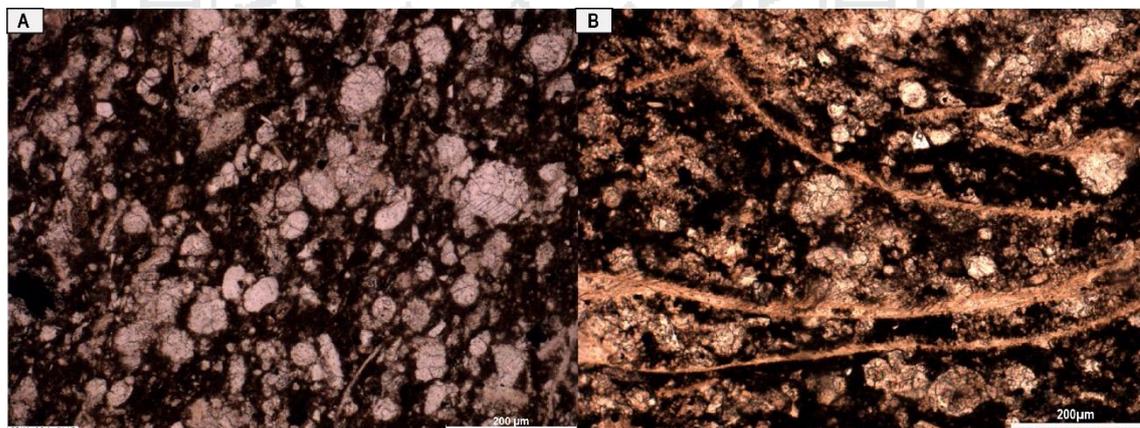


Figura 45: A) Packstone con calciesferas inmerso en la matriz (Muestra GR41A-15-218, NP, 10X). **B) Packstone** con bioclastos de calciesferas y bivalvos (GR41A-15-218, NP, 10X).

Muestra: GR41A-15-220, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A11.

Packstone: Roca sedimentaria carbonatada, textura granular, con soporte de granos, granos carbonatados (matriz, cemento) ~35%. Los bioclastos consisten en calciesferas ~15%, crinoideos ~20%, ostrácodos ~ 10%, concha de bivalvos pelágicos ~ 10%, foraminíferos ~1%, espículas de equinoideo ~1%, reemplazados por carbonatos (micrítica - espática) y minerales opacos ~8% (Figura 46).

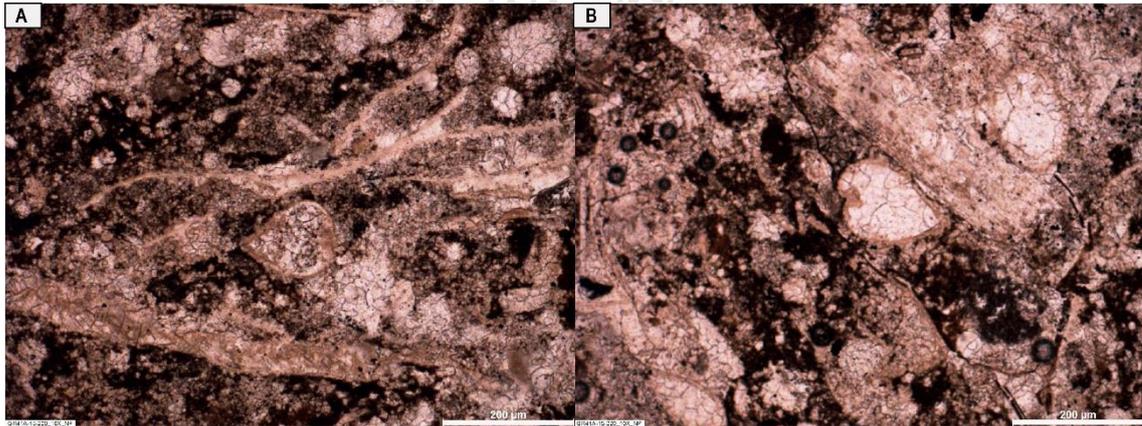


Figura 46: **A)** *Packstone* con bioclastos de ostrácodos, calciesferas inmerso en la matriz (Muestra GR41A-15-220, NP, 10X). **B)** *Packstone* de bioclastos inmerso en una matriz micrítica y por sectores espática (GR41A-15-220, NP, 10X).

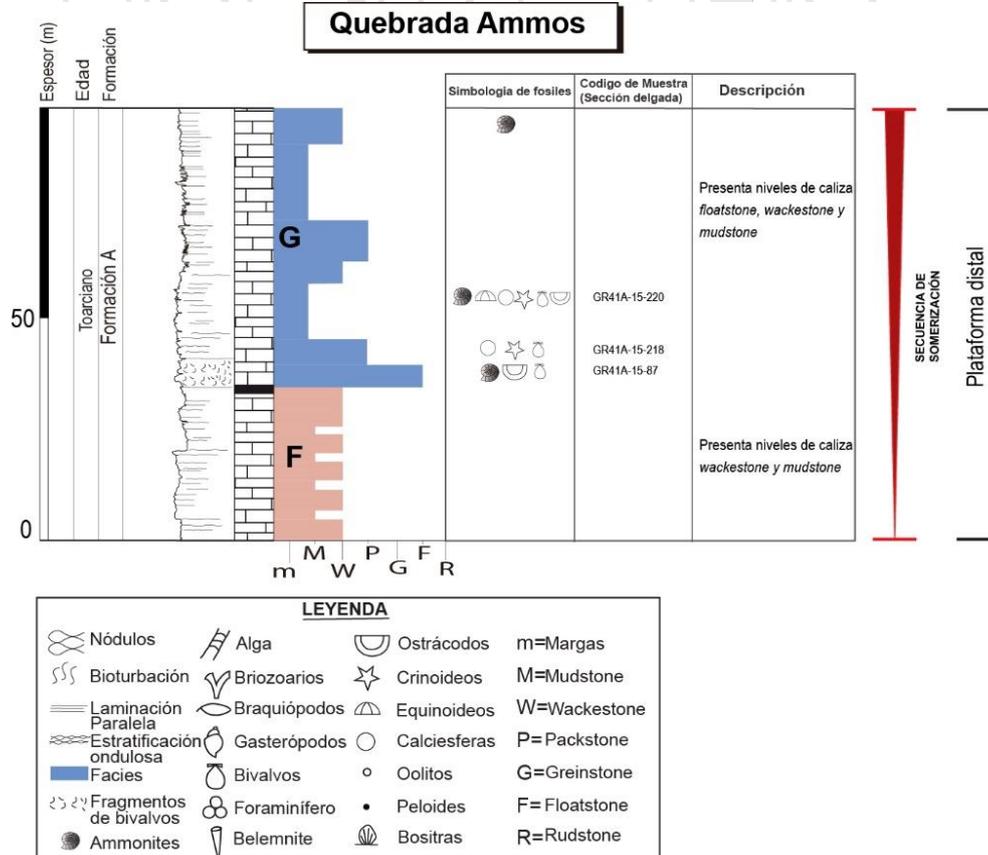


Figura. 47: Columna estratigráfica del sector “Quebrada Ammos”.

Cuadro 4: Resumen y principales características de las facies identificadas en “Quebrada Ammos” de la Unidad “A”.

Facies Color/ Código	Fosil / Estructura Sedimentaria	Textura	Color	Ciclos de Profundización y Somerización	Ambiente Depositacional
G	Estratificación Planar Paralela, laminación paralela, diversa fauna.	Floatstone Packstone Mudstone	Gris negro	Somerización	Plataforma distal
F	Estratificación Ondulada paralela, laminación paralela.	Wackestone Mudstone	Gris oscuro a gris verdoso		

4.1.4. Sector Quebrada Palquilla, Palquilla

Para el estudio de facies sedimentarias carbonatadas, se ha levantado una columna estratigráfica que está ubicado a ~6 Km al sureste del pueblo de Palquilla (Figura 48), en línea recta, e inicia con las coordenadas 392399E, 8052549N, UTM WGS84. Para la unidad “A” se han reconocido las facies “J, K, G”, de las cuales se describen a continuación los análisis de cada una de ellas (Figura 57).



Figura 48: Vista al noreste de la sección “Quebrada Palquilla”. La flecha entrecortada indica la dirección de la sección estratigráfica levantada.

4.1.4.1. Facies J de Limolitas calcáreas – *Packstone*

El análisis de esta facies consiste en limolitas calcáreas con niveles de calizas tipo *packstone* color gris oscuro, con algunos niveles de margas color gris oscura, la coloración de las limolitas calcáreas es gris violáceo. Los estratos presentan espesores de 0.3-0.8m. Los componentes esqueléticos consisten en ammonites y crinoideos orientados con la estratificación. Presenta estructuras sedimentarias tipo laminaciones paralelas (Figura 49).



Figura 49: A) Foto de afloramiento de las facies “J”, se observa el contacto litológico de calizas y limolitas calcáreas. 1A) y 2A) Fósil de crinoideos en afloramiento. 3A) Note la abundancia de fósiles de ammonites paralelos a la estratificación.

A. Petrografía:

Muestra: GR41A-15-232, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A12.

Packstone: Roca sedimentaria carbonatada, textura granular, con soporte de granos, granos carbonatados (matriz y cemento) ~29%. Los bioclastos consisten en bivalvos pelágicos ~50%, calciesferas ~10%, ostrácodos ~3% reemplazados por calcita micrítica y espática, minerales opacos ~8% disperso en la matriz (Figura 50).

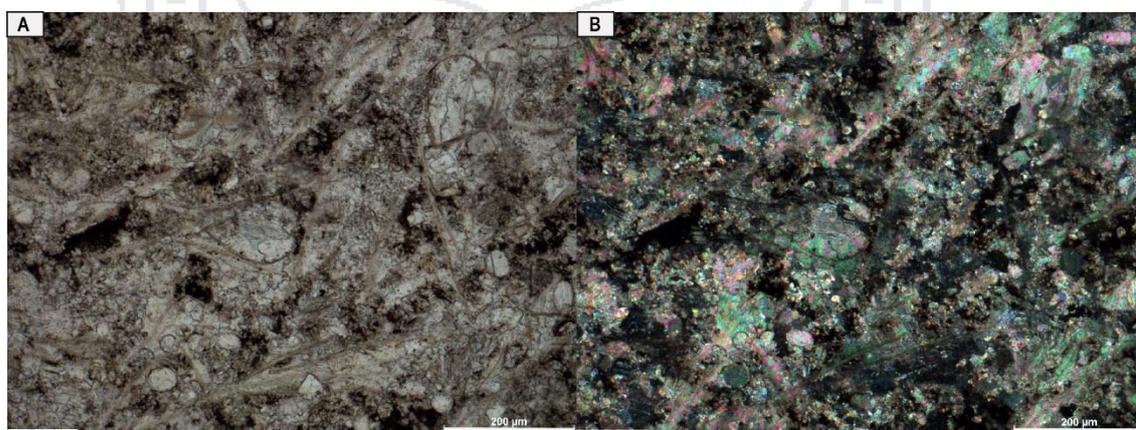


Figura 50: **Packstone** bioclástico de bivalvos pelágicos, calciesferas y ostrácodos inmersos en la matriz. A) muestra GR41A-15-232 vista en nicolos paralelos en 2.5X. B) muestra GR41A-15-232 vista en nicolos cruzados en 2.5X.

Muestra: GR41A-15-237 los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A13.

Packstone: Compuesta principalmente por bioclastos recubiertos por calcíesferas (~45%), en donde los granos soportan a la estructura, la fracción terrígena (~3%) de granos de cuarzo y feldespato, minerales opacos (~10%) disperso en la matriz alterándose a óxidos de hierro. La matriz (~42%) está compuesta por calcita micrítica y por sectores de calcita espática impregnado por arcillas (Figura 51).

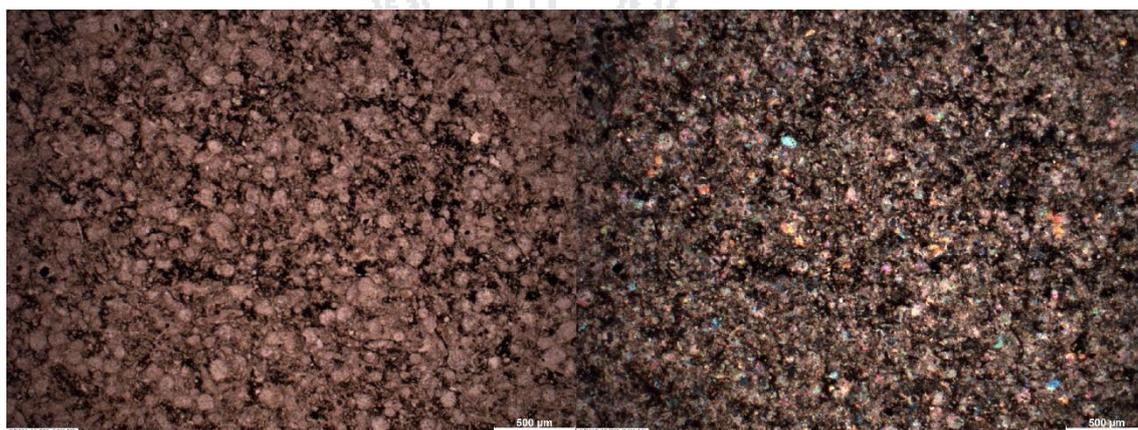


Figura 51: *Packstone* bioclástico de textura espática, diferentes vistas de la muestra GR41A-15-237. Izquierda: vista en nicoles paralelos en 2.5X. Derecha: vista en nicoles cruzados en 2.5X de la muestra: GR41A-15-237.

4.1.4.2. Facies K de Margas – *Packstone* – Limolitas calcáreas

El análisis de esta facies consiste en margas color gris oscuras con niveles de limolitas calcáreas y calizas tipo *packstone* color gris oscuras. Los estratos presentan espesores 0.05 a 0.2m, moderadamente alterados. Los componentes esqueléticos consisten en ammonites, belemnites y crinoideos. Además, presenta estructura sedimentaria tipo laminaciones paralelas (Figura 52).



Figura 52: Foto de afloramiento de la facies "K".

4.1.4.3. Facies G de *Floatstone* – *Packstone*

El análisis de esta facies consiste en calizas tipo *floatstone* y *packstone*, estas capas tienen algunas intercalaciones de calizas tipo *rudstone*. Los estratos presentan espesores de 0.1 a 0.3 m. Las coloraciones de las capas son de color gris oscuro. Los componentes esqueléticos consisten en abundantes fragmentos de bivalvos y ammonites mayormente. En algunos niveles de caliza se observan nódulos calcáreos (~Ø 10 cm) (Figura 53).

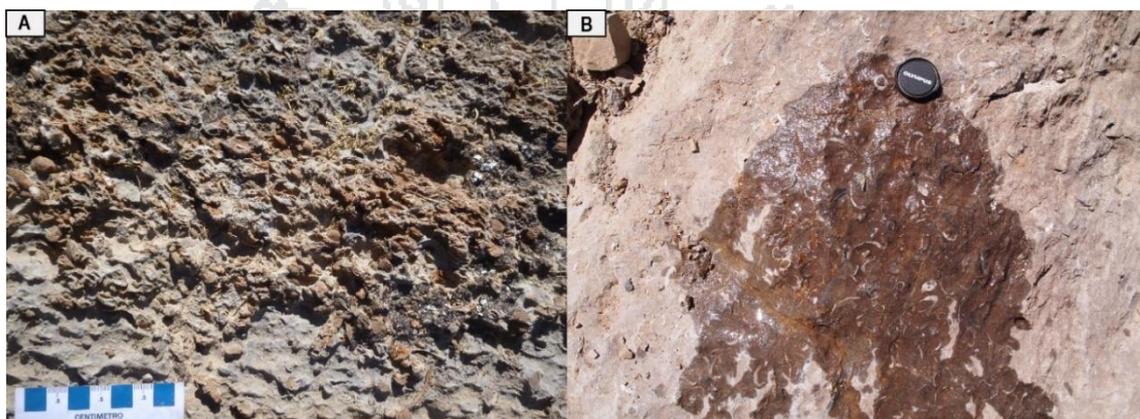


Figura 53: A) y B) Vista del afloramiento en situ de las facies “G”, se muestra calizas tipo *rudstone*. Note la abundancia de macrofósiles de bivalvos mayores a 2mm de longitud.

A. Petrografía:

Muestra GR41A-15-230, donde los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A14.

Packstone: Roca sedimentaria carbonatada, textura granular con soporte de granos. Los bioclastos se componen de calciesferas (~45%) y oolitos (<~1%). El conjunto inmerso en una matriz micrítica y por sectores por calcita espática. La fracción terrígena (~5%) se compone de cuarzo, feldespatos parcialmente alterándose a óxidos de hierro, además se observa granos irregulares (~1%) compuestos por calcita micrítica presenta reemplazo parcial de óxidos (Figura 54).

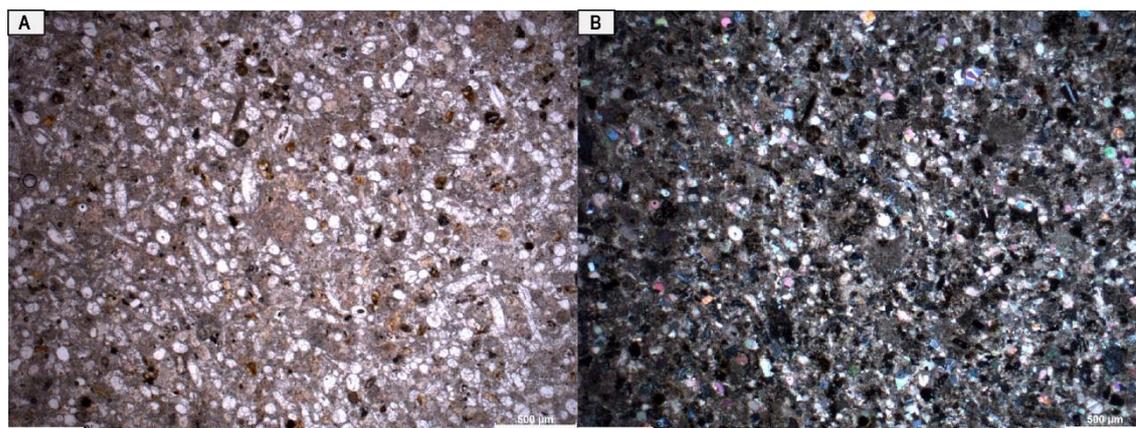


Figura 54: A) Packstone bioclástico muestra GR41A-15-230 vista en nicols paralelos en 2.5X. **B) Packstone** bioclástico muestra GR41A-15-230 vista en nicols cruzados en 2.5X.

Muestra: GR41A-15-233, los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A15.

Floatstone: Se compone de granos esqueletales de bivalvos ~40% (los bioclastos son mayores a 2mm de longitud), gasterópodos ~10%, espinas de equinoideo ~5%, briozooarios ~7%, algas verdes ~10%, crinoideos ~3%, en una matriz ~15% micrítica y por sectores de calcita espática, minerales opacos ~10% (Figura 55).

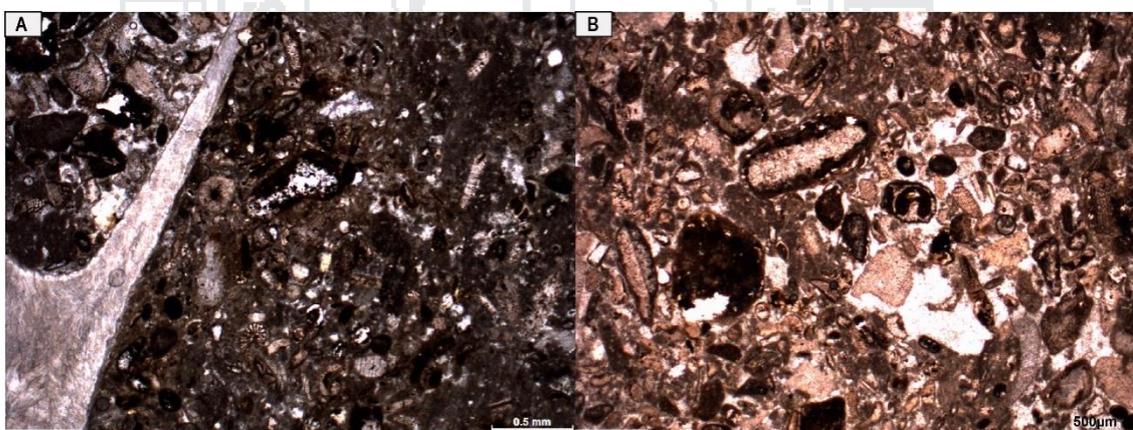


Figura 55: A) Floatstone bioclástico, muestra GR41A-15-233 en nicols paralelos en vista 2.5X. **B) Floatstone** bioclástico, presenta matriz *packstone* (GR41A-15-233, NP, 2.5X).

Muestra: GR41A-15-242, los resultados del estudio petrográfico se muestran en el Anexo A16.

Grainstone: Roca sedimentaria carbonatada, textura granular con soporte de granos, constituido por bioclastos de braquiópodos ~5%, algas verdes dasycladacea ~1%, espículas de equinoideo ~1%, granos detríticos ~3% (cuarzo, feldespato), minerales opacos ~1%, en una matriz micrítica y espática ~90% (Figura 56).

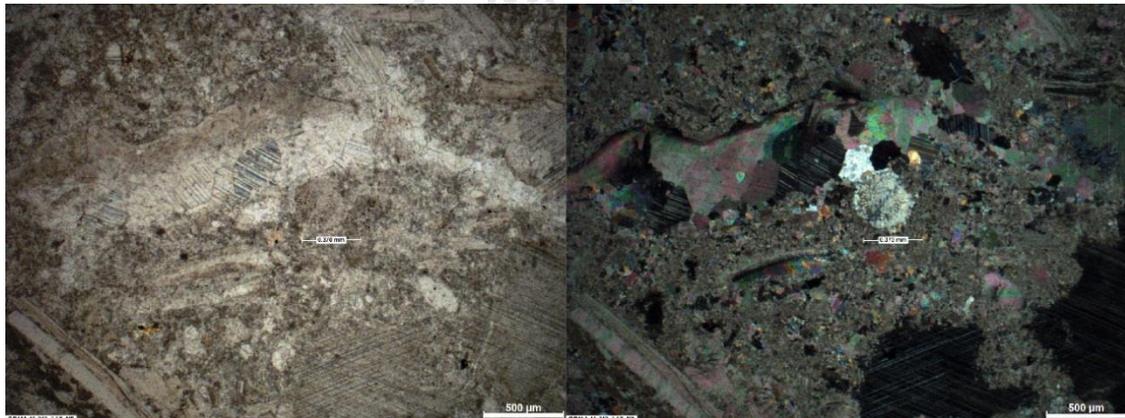


Figura 56: Grainstone con bioclastos se observa espículas de equinoideo de dimensión 0.37mm de diámetro inmerso en la matriz, diferentes vistas de la muestra GR41A-15-242. Izquierda: vista en nicules paralelos en 2.5x. Derecha: vista en nicules cruzados en 2.5x.

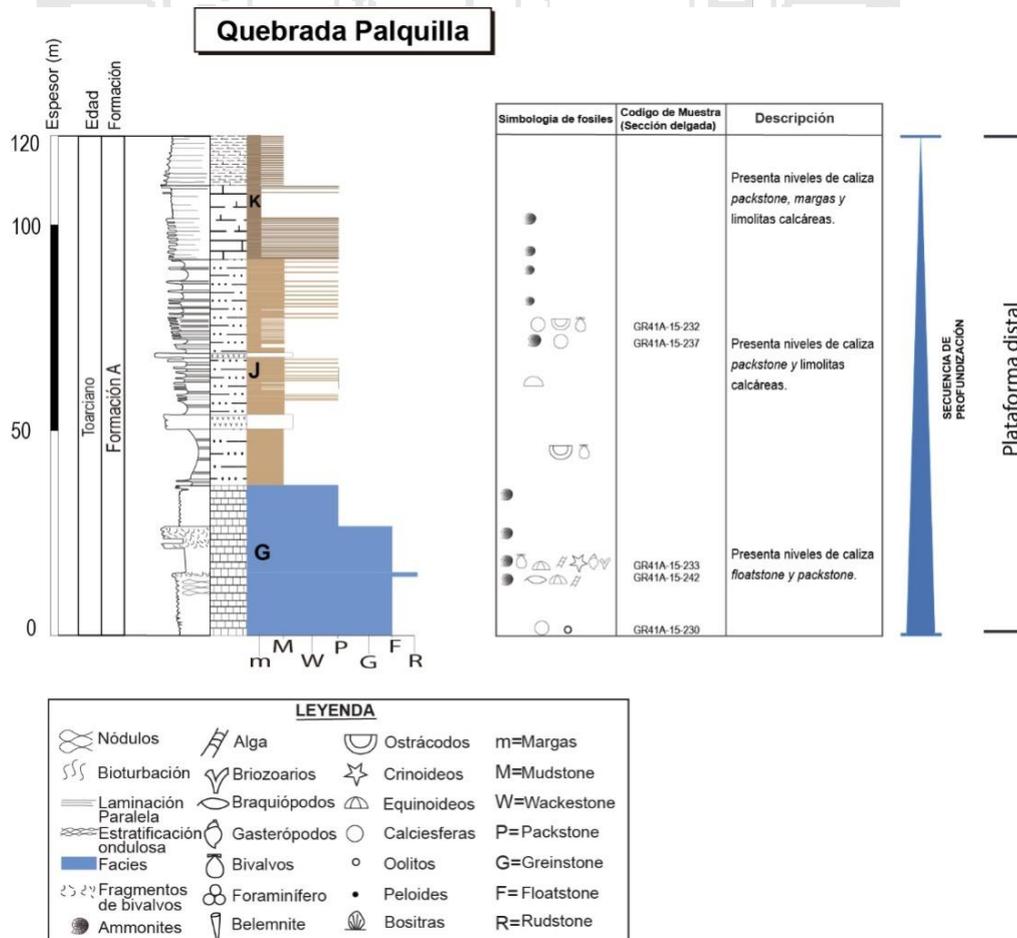


Figura 57: Columna estratigráfica del sector “Quebrada Palquilla”.

Cuadro 5: Resumen y principales características de las facies identificadas en “Quebrada Palquilla” de la Unidad “A”.

Facies Color/ Código	Fosil / Estructura Sedimentaria	Textura	Color	Ciclos de Profundización y Somerización	Ambiente Depositacional
K	Estratificación Planar Paralela, laminación paralela. Fosil: ammonites, belemnites y crinoideos.	Limolitas Packstone Margas	Gris oscuro	Profundización	Plataforma distal
J	Laminaciones paralelas.	Limolitas Packstone	Gris oscuro Gris violáceo		
G	Fosil: Bivalvos y ammonites. Se observa en nódulos (~Ø 10 cm)	Floatstone Packstone Rudstone	Gris oscuro		

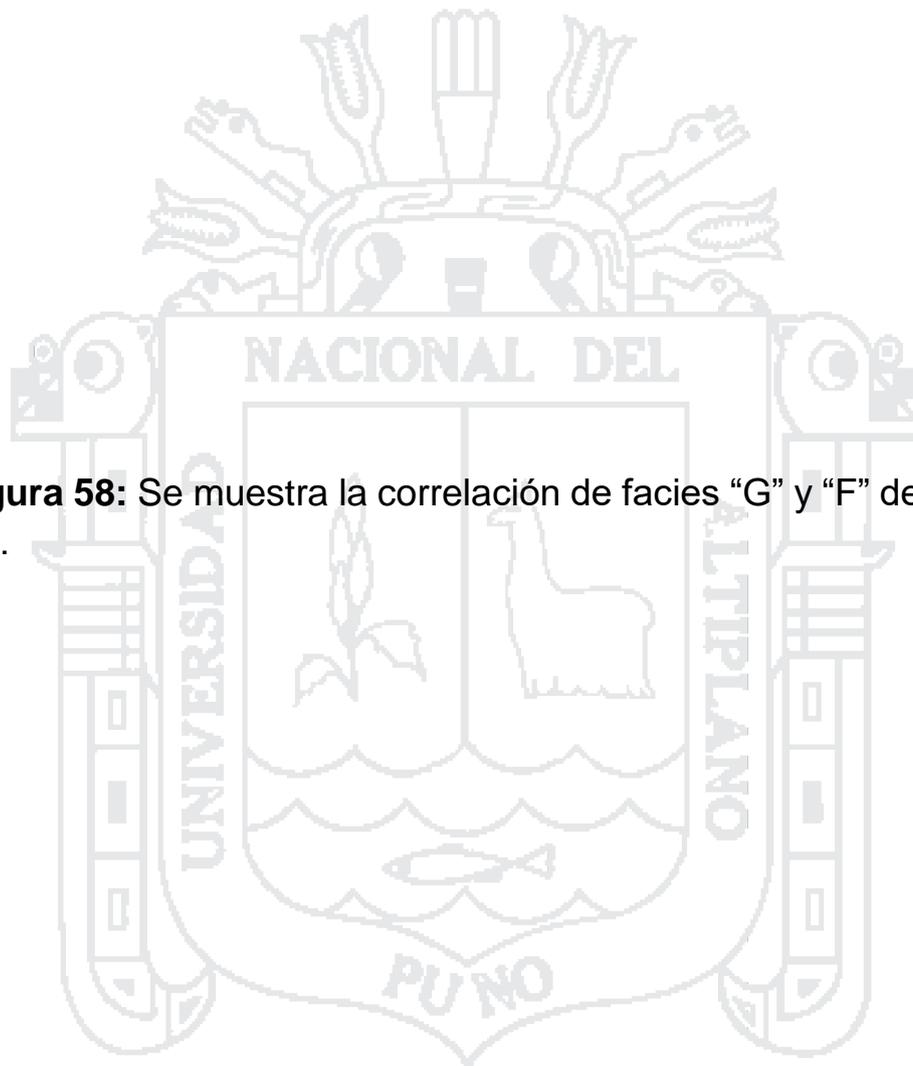
4.2. CORRELACIÓN DE FACIES

La Unidad “A” está conformada por once facies, denominados con las letras “A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K” de acuerdo con las características composicionales y texturales, además de las estructuras sedimentarias que presenta cada una de ellas. Asimismo, para la Unidad “B” está formada por cuatro facies, definidas con letras “Q, R, S, T”.

Se correlacionan las facies “G” y “F” de la Unidad “A”, la facies “G” está compuesta principalmente por calizas tipo *rudstone* y *floatstone* con matriz *packstone*, los microfósiles útiles para esta correlación consisten principalmente por abundantes fragmentos de ammonites forma sinemuriana y pliensbachiana (cf. Benites, *En prep.*) y bivalvos mayores a 2mm de dimensión, además presentan estructura de carga, es decir se vuelven más bioclásticos con menos matriz (*packstone*). Estas características reflejan condiciones de alta energía durante el depósito de esta facies, están expuestas en el Cerro Pelado, Quebrada Ammos y Quebrada Palquilla (Figura 58).

Las facies “F”, está compuesta por calizas tipo *mudstone* y *wackestone* color gris oscura, presenta estratificación continua paralela, también presenta estructura sedimentaria tipo laminaciones paralelas, estas características reflejan condiciones de baja energía durante el depósito de estas facies, están expuestas en la Quebrada Ammos y en el Cerro Pelado (Figura 58).

Figura 58: Se muestra la correlación de facies “G” y “F” de la Unidad “A”.



4.3. MODELOS E INTERPRETACIÓN DE FACIES

4.3.1. Sector Quebrada Tocuco, Pachía:

El análisis de facies carbonatadas sugiere que las calizas que corresponden a la Unidad "B" y que afloran en la Quebrada Tocuco se tratan de secuencias de profundización correspondientes a un ambiente profundo, típico de plataforma carbonatada distal, en consistencia con lo reportado por Salinas (1985) en la Quebrada Palca que está ubicado a la paralela de la Quebrada Tocuco (~4 km) (Figura 15). Estos análisis concluyen además que ocurrió una rápida transición, es decir hacia facies de mayor profundidad, por ejemplo, de acuerdo con los estudios petrográficos se han encontrado globigerínidos y radiolarios (*Spumellaria*) y presencia de materia orgánica, el cual nos indican ambientes de profundización. En relativo contraste, las calizas que representan la Unidad "B" se depositaron bajo condiciones de aun menor energía, presentan estructuras sedimentarias tipo laminaciones paralelas, la orientación normal de las conchas indica un ambiente de poca energía. Además, la presencia de bioclastos de fauna marina (género *Bositra*, gasterópodos, crinoideos, equinodermos, foraminíferos globulares y algas), indica que fue depositada en condiciones más profundas que las facies de la Unidad "A". Esto permite considerar que la Unidad "B", se depositó en condiciones de plataforma carbonatada distal (Figura 59 y 60), y que esta parte de la cuenca experimentó una rápida subsidencia o una subida pronta del nivel eustático.

4.3.2. Sector Cerro Pelado, Palca:

El análisis de facies de la Unidad "A" indica que las secuencias estudiadas se formaron en un proceso de profundización y correspondería a ambiente profundo (no mayor de ~100 m prof.) de una plataforma carbonatada distal y secuencias de somerización correspondiente a ambiente somero de plataforma carbonatada proximal. La presencia de ammonites sinemurianos *Arietitidos* sugieren profundidades entre 50 y 70 m (cf. Westermann 1996, Benites, *En Prep*).

Las facies "I" presenta frecuentes señales de bioturbación intensa, estas se debieron generar en la zona submarea baja, donde las condiciones ambientales permiten únicamente el desarrollo de determinados organismos que bioturban el sedimento, se sugiere ambientes de alta (*packstone*) a baja energía (*mudstone* *wackestone*), se propone condiciones marinas someras semiprotegidas de

plataforma carbonatada proximal, las facies "H" presenta por una mezcla de texturas tanto de alta energía (*packstone*) como de baja energía (*mudstone*). Los componentes esquelatales consisten en ammonites la cual sugieren condiciones favorables para el desarrollo de la vida marina. Para texturas con soporte de granos se interpreta un nivel de mar bajo, esto implica que el nivel de energía aumentó dentro la zona restringida y no permitía la depositación de lodo carbonatado; para texturas de lodosoportado el nivel de mar era alto, las condiciones energéticas dentro de la laguna eran bajas depositándose gran cantidad de lodo carbonatado, por lo descrito anteriormente se determina que el ambiente de depósito fue de plataforma carbonatada proximal restringida, las facies "G" indican condiciones similares en los sectores de Quebrada Palquilla y Quebrada Ammos, con respecto a las facies "F" presenta textura depositacional de energía baja (*mudstone a wackestone*) de plataforma carbonatada distal, las facies "E" presenta generación de los nódulos se debe probablemente a procesos diagenéticos de redistribución del carbonato de calcio disponible en las lentes de areniscas cuarzosas (Fürsich 1982, Ricken & Eder 1991), la generación de horizontes nodulares presenta aspecto de boudinage, estaría relacionado a procesos de cementación progresiva durante la diagénesis temprana en periodos de baja tasa de sedimentación (Fürsich, 1982). Las facies "D" presenta condiciones similares a las facies "E", las facies "C" evidencia condiciones tranquilas de sedimentación y bajo transporte lateral. Se observa componentes esquelatales de ammonites en afloramiento, además presenta condiciones de depositación de energía baja, las facies "B" presenta condiciones similares a las facies "D" y "E" y por ultimo las facies "A" facies se caracterizan por la alternancia de lutitas y limolitas color gris oscura a pardo, caracteriza ambiente de baja energía, no se observan componentes esquelatales nos sugieren ambientes de plataforma distal (Figuras 59 y 60).

4.3.3. Sector Quebrada Ammos, Palca:

El análisis de facies indica que la Unidad "A" indica secuencias de profundización correspondiente a ambiente profundo de plataforma carbonatada distal. Las rocas carbonatadas con facies "G" indican condiciones de un ambiente marino muy somero por la abundante y diversidad de fauna que se observan en afloramiento. Las partículas esquelatales consisten principalmente de

ammonites y bivalvos mayores a 2 mm (articulados y desarticulados), a nivel microscópico se observa fragmentos de ostrácodos, crinoideos, equinoideos, calcíesferas. En esta facies es evidente el aumento en la cantidad y diversidad de las partículas esqueléticas sugiere ambientes de alta energía. Por lo que se propone un ambiente semi-restringido a no restringido. Además, esta facies presenta niveles tobas alterados de coloración blanquecina, muy deleznable debido a su alteración a arcillas su espesor varía de 3 a 5 cm y su aparición es esporádica, se interpreta como niveles piroclásticos de caída, proveniente del arco volcánico (?Fm. Chocolate). Con respecto a las facies "F" no se observa partículas esqueléticas tales como fragmentos de conchas fósiles. La textura depositacional (*mudstone* a *wackestone*) indica ambientes de muy baja energía mareica y de plataforma carbonatada distal (Figuras 59 y 60).

4.3.4. Sector Quebrada Palquilla, Palquilla:

El análisis de facies para la Unidad "A" indica secuencias de profundización de plataforma carbonatada distal. La diversidad y la cantidad de fauna que se presentan en las facies "G" indican condiciones similares a las facies "G" de las rocas que afloran en la Quebrada Ammos y Cerro Pelado, en estos casos es probable que el ambiente haya estado bajo condiciones más propicias para el desarrollo de la vida marina (mayor cantidad de fauna), ya que se observan fósiles en escala de afloramiento, asimismo en estas facies las partículas esqueléticas consisten principalmente de ammonites y bivalvos (articulados y desarticulados), esta facies indica un ambiente marino muy somero la cantidad de fauna disminuye en las facies "J" y "K", además la cantidad de lodo calcáreo disminuye con respecto a las facies "G", es decir presenta litológicamente limolitas, margas y niveles de calizas tipo *packstone* conteniendo fauna de ammonites, crinoideos, espinas de equinoideo y belemnites en posición normal (es decir paralelo a la estratificación), además de presentar estructuras sedimentarias tipo laminaciones paralelas por lo que se infiere condiciones de baja energía y condiciones de aguas someras de ambientes marinos de circulación abierta y salinidad normal (Flügel, 1982). Estas características sugieren condiciones ambiente marino somero, iluminado y cálido, es decir de plataforma carbonatada distal (Figuras 59 y 60).

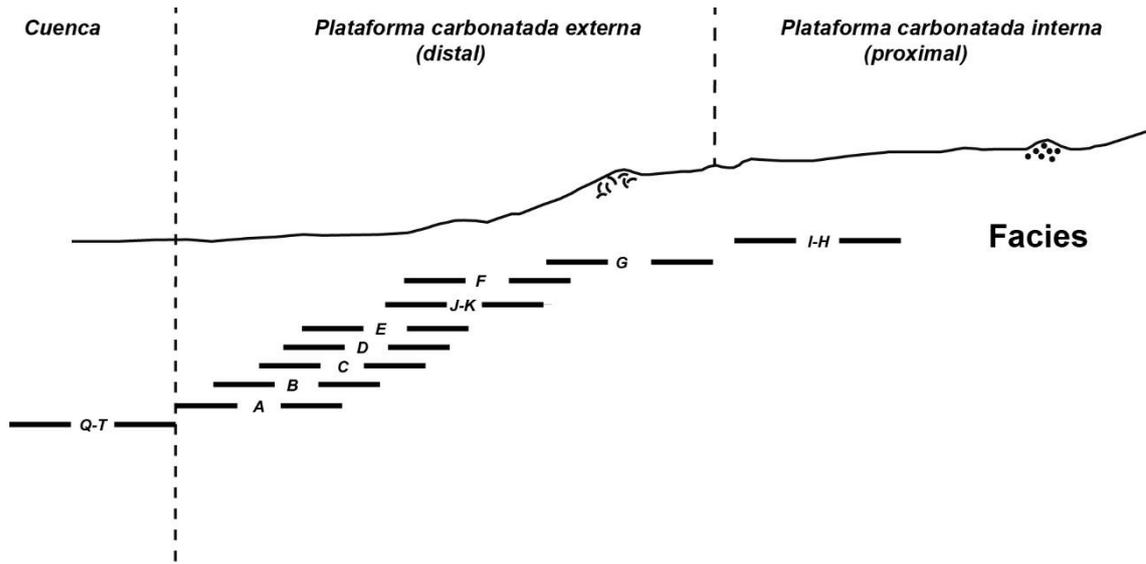


Figura 59: Distribución esquemática de las facies carbonatadas de la Unidad "A" que están representadas en un intervalo de "A-K" y para la Unidad "B" del intervalo "Q-T".

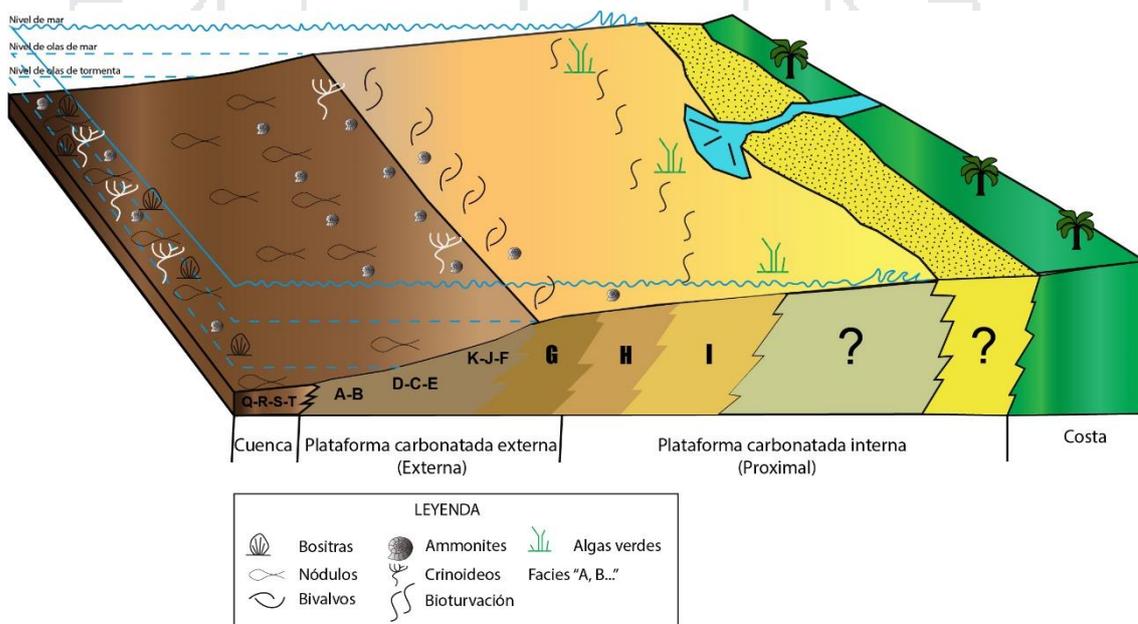


Figura 60: Esquema de modelo depositacional de las facies (A, B, C, D, E, F, J, K, G, H, I) de la Unidad "A" y para la Unidad "B" las facies (Q, R, S, T).

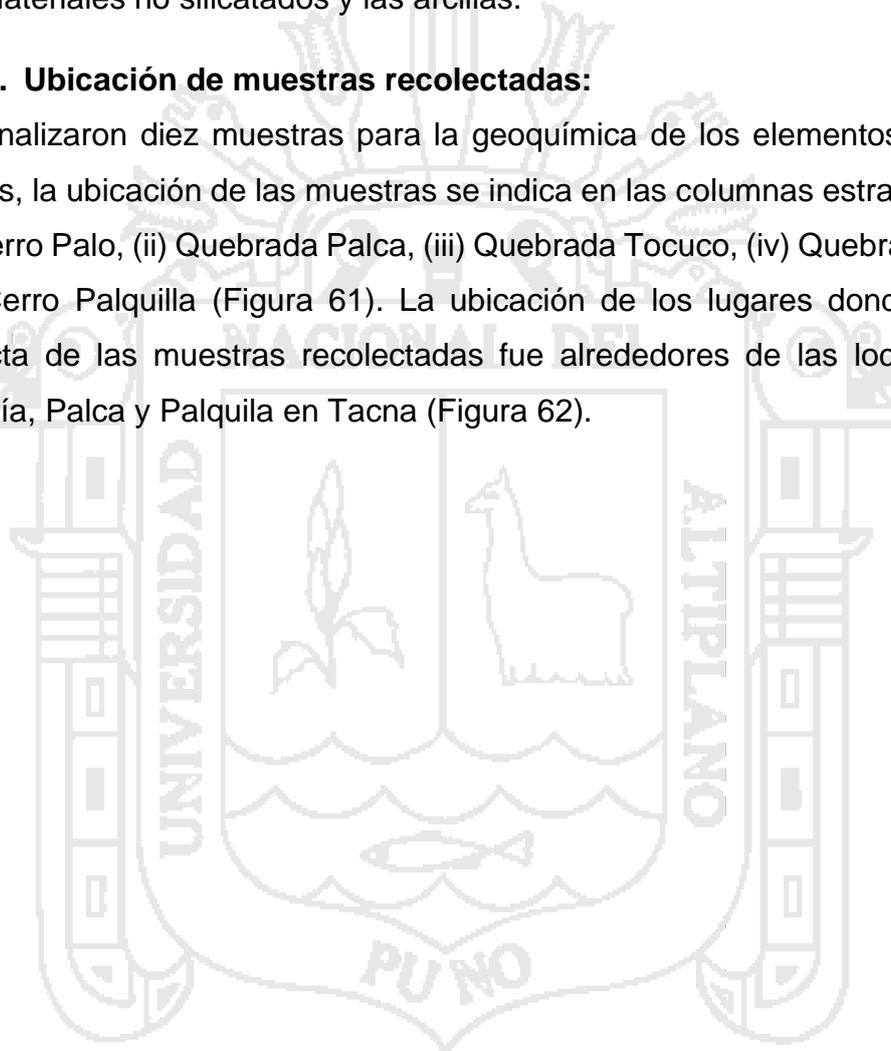
4.4. GEOQUÍMICA

4.4.1. Geoquímica de las rocas carbonatadas

Para la caracterización geoquímica de rocas carbonatadas son muy utilizados los elementos mayoritarios y trazas. La composición química de estas rocas está controlada mayormente por el contenido de impurezas no carbonatados, como los materiales no silicatados y las arcillas.

4.4.2. Ubicación de muestras recolectadas:

Se analizaron diez muestras para la geoquímica de los elementos mayores y trazas, la ubicación de las muestras se indica en las columnas estratigráficas de (i) Cerro Palo, (ii) Quebrada Palca, (iii) Quebrada Tocuco, (iv) Quebrada Ammos, (v) Cerro Palquilla (Figura 61). La ubicación de los lugares donde realizo la colecta de las muestras recolectadas fue alrededores de las localidades de Pachía, Palca y Palquilla en Tacna (Figura 62).



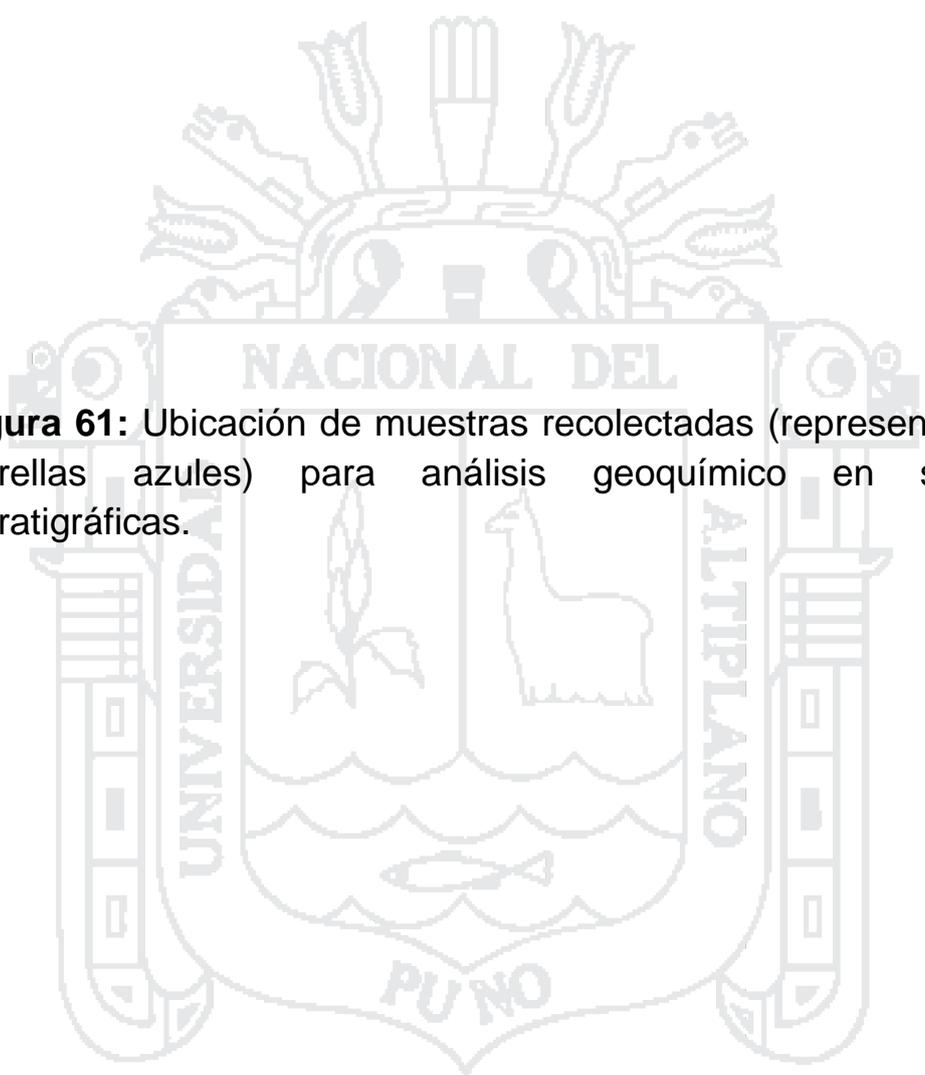
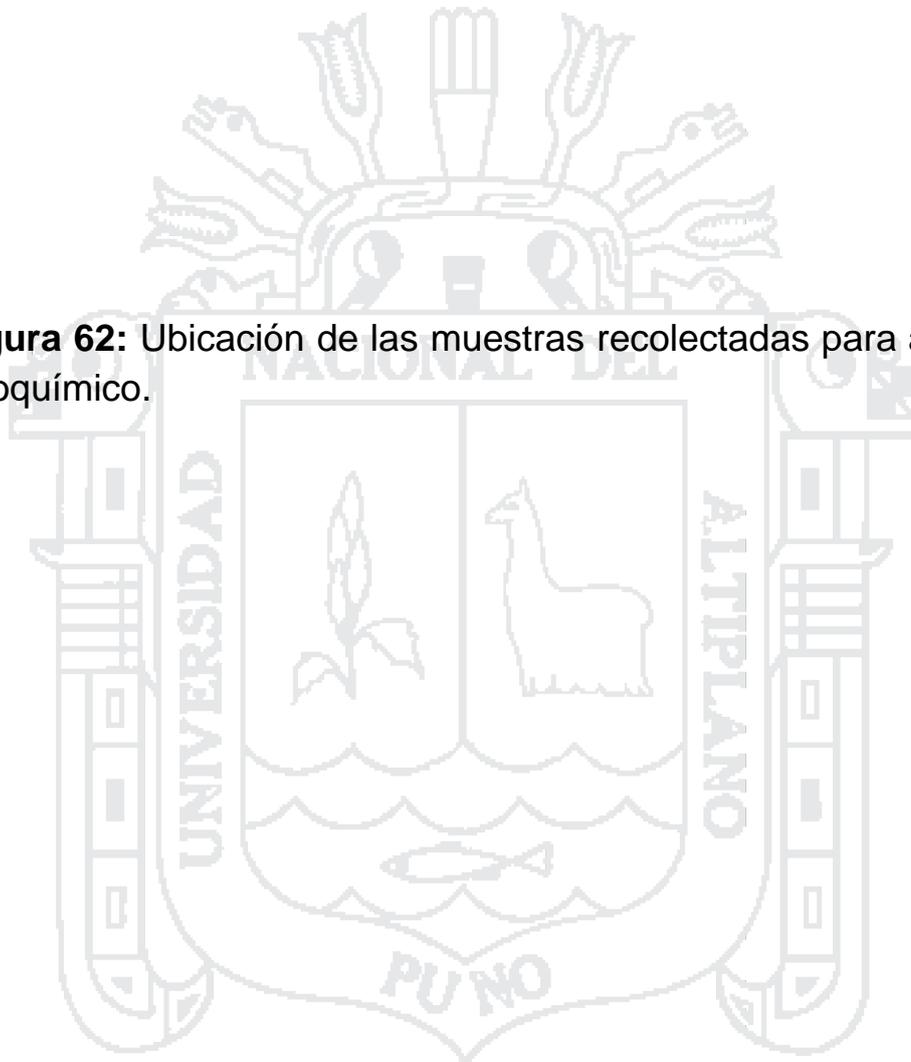


Figura 61: Ubicación de muestras recolectadas (representadas por estrellas azules) para análisis geoquímico en secciones estratigráficas.

Figura 62: Ubicación de las muestras recolectadas para análisis de geoquímico.



Cuadro 6: Concentración de elementos mayores (% en peso) de muestras colectadas.

Unidad Litoestratigráfica	Muestra	Localidad	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Suma
Formación Pelado	GR41A-15-80b	C° Palquilla	44.72	0.35	6	3.58	0.09	2.25	42.43	0.19	0.24	0.15	100
	GR-41A-15-230b	C° Palquilla	37.54	0.14	6.9	1.01	0.05	0.96	50.66	1.9	0.28	0.57	100
	GR41A-15-87b	Qda. Ammos	13.89	0.1	2.42	0.77	0.04	1.78	80.25	0.17	0.05	0.56	100
Formación Socosani	GR41A-15-58b	Qda. Palca	57.39	0.53	9.23	5.09	0.04	1.82	24.43	0.17	1.14	0.15	100
	GR41A-15-31b	Qda. Palca	50.47	0.46	12.02	3.42	0.2	4.18	28.61	0.37	0.12	0.17	100
	GR41A-15-33b	Qda. Palca	65.77	0.55	10.91	4.32	0.09	1.65	13.49	2.48	0.54	0.2	100
	GR-41A-15-259b	Qda. Tocuco	72.89	0.54	9.06	2.58	0.03	0.86	10.94	1.63	1.2	0.26	100
	GR41A-15-57b	C° Palo	67.41	0.54	10.54	1.5	0.03	1.39	15.75	2	0.6	0.25	100
	GR41A-15-56b	C° Palo	23.35	0.24	7.4	2.16	0.07	2.08	62.34	1.85	0.32	0.19	100
	GR-41A-15-282b	C° Palo	55.15	0.47	8.49	3.13	0.07	1.09	28.5	1.7	1.06	0.34	100



Cuadro 7: Concentración de elementos trazas (ppm) de las muestras recolectadas.

Unidad Litoestratigráfica	Muestra	Localidad	Li	V	Co	Ni	Cr	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Nb
Formación Pelado	GR41A-15-80b	C° Palquilla	13.00	36.00	3.00	8.00	18	16.00	18.00	22.00	722.00	11.00	2.8
	GR-41A-15-230b	C° Palquilla	2.00	10.64	1.00	5.00	6.96	4.01	19.52	4.88	276.57	13.42	0.86
	GR41A-15-87b	Qda. Ammos	2.00	13.00	1.00	10.00	5	4.00	19.00	4.00	236.00	9.00	0.8
Formación Socosani	GR41A-15-58b	Qda. Palca	15.00	345.00	6.00	50.00	50	20.00	1767.00	58.00	256.00	5.00	3.2
	GR41A-15-31b	Qda. Palca	5.00	55.00	3.00	8.00	29	8.00	37.00	5.00	156.00	7.00	2.7
	GR41A-15-33b	Qda. Palca	23.00	119.00	9.00	26.00	46	34.00	163.00	39.00	302.00	5.00	3.9
	GR-41A-15-259b	Qda. Tocuco	2.00	235.33	3.03	46.76	88.23	44.95	821.86	33.57	223.01	25.41	3.29
	GR41A-15-57b	C° Palo	16.00	150.00	4.00	23.00	48	24.00	155.00	42.00	196.00	5.00	3.4
	GR41A-15-56b	C° Palo	10.00	41.00	4.00	5.00	16	7.00	36.00	10.00	436.00	5.00	1.5
	GR-41A-15-282b	C° Palo	2.00	90.72	2.69	28.32	50.98	30.22	241.01	36.32	158.12	21.13	2.77

Unidad Litoestratigráfica	Muestra	Localidad	Zr	Mo	Cs	Cd	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
Formación Pelado	GR41A-15-80b	C° Palquilla	99.00	2.00	1.47	1.00	186.00	49	36.40	4.60	16.10	3.20	0.80
	GR-41A-15-230b	C° Palquilla	5.00	2.00	0.97	1.00	63.75	48.73	9.88	1.69	6.42	1.28	0.27
	GR41A-15-87b	Qda. Ammos	69.00	4.00	0.20	1.00	645.00	46	9.10	1.50	5.70	1.00	0.40
Formación Socosani	GR41A-15-58b	Qda. Palca	104.00	33.00	0.51	23.00	563.00	45	23.70	4.10	15.10	3.20	1.00
	GR41A-15-31b	Qda. Palca	98.00	2.00	0.35	1.00	58.00	52	24.70	3.80	14.20	2.90	0.90
	GR41A-15-33b	Qda. Palca	103.00	9.00	2.34	3.00	412.00	50	30.60	4.50	16.60	3.60	0.90
	GR-41A-15-259b	Qda. Tocuco	58.12	12.68	2.31	21.33	757.02	39.32	19.86	4.36	16.67	3.76	0.86
	GR41A-15-57b	C° Palo	107.00	9.00	3.56	2.00	320.00	43	26.10	3.90	14.60	3.10	0.70
	GR41A-15-56b	C° Palo	58.00	2.00	0.79	1.00	240.00	49	12.50	1.90	6.60	1.20	0.80
	GR-41A-15-282b	C° Palo	30.10	12.99	4.13	5.54	227.13	46.1	19.24	3.48	13.49	2.90	0.63

Unidad Litoestratigráfica	Muestra	Localidad	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Pb	Th	U	Be
Formación Pelado	GR41A-15-80b	C° Palquilla	1.90	0.20	1.6	0.20	1.40	0.50	1.00	5.00	2.8	1.10	1.50
	GR-41A-15-230b	C° Palquilla	0.75	0.11	0.84	0.15	0.85	0.50	5.00	5.00	1.58	1.41	0.78
	GR41A-15-87b	Qda. Ammos	0.70	0.10	0.5	0.15	0.40	0.50	1.00	5.00	0.5	9.20	1.20
Formación Socosani	GR41A-15-58b	Qda. Palca	1.80	0.20	1.6	0.20	2.20	0.50	1.00	5.00	3.6	3.70	1.60
	GR41A-15-31b	Qda. Palca	2.10	0.30	1.9	0.27	1.80	0.50	1.00	5.00	2.5	1.30	1.70
	GR41A-15-33b	Qda. Palca	1.90	0.20	1.8	0.25	2.40	0.50	1.00	5.00	4.3	2.60	2.10
	GR-41A-15-259b	Qda. Tocuco	1.90	0.30	1.96	0.30	2.48	0.50	5.00	7.35	3.95	2.74	1.33
	GR41A-15-57b	C° Palo	1.50	0.20	1.4	0.20	2.30	0.50	1.00	5.00	4.3	2.20	1.60
	GR41A-15-56b	C° Palo	0.60	0.10	0.5	0.15	0.70	0.50	2.00	5.00	1.1	0.90	1.30
	GR-41A-15-282b	C° Palo	1.43	0.22	1.45	0.24	2.03	0.50	5.00	5.00	3.48	1.83	1.27

Unidad Litoestratigráfica	Muestra	Localidad	Gd	Tb	Dy	Ho	Ga	In	Tl	As	Sb	Bi	Ag
Formación Pelado	GR41A-15-80b	C° Palquilla	3.2	0.50	3.00	0.60	5.30	0.20	0.50	132	2.00	10.00	0.50
	GR-41A-15-230b	C° Palquilla	1.25	0.20	1.07	0.28	2.98	0.20	0.50	32.3	2.00	0.00	0.50
	GR41A-15-87b	Qda. Ammos	1.2	0.20	1.10	0.20	1.30	0.20	0.50	145	2.00	10.00	0.50
Formación Socosani	GR41A-15-58b	Qda. Palca	3.5	0.50	2.90	0.60	8.30	0.20	0.50	20	8.00	10.00	0.50
	GR41A-15-31b	Qda. Palca	3.8	0.60	3.70	0.80	10.70	0.20	0.50	121	2.00	10.00	0.50
	GR41A-15-33b	Qda. Palca	3.3	0.50	3.00	0.60	10.30	0.20	0.50	117	3.00	10.00	0.50
	GR-41A-15-259b	Qda. Tocuco	3.42	0.59	3.20	0.75	8.09	0.20	0.50	15.45	11.99	0.00	4.82
	GR41A-15-57b	C° Palo	3	0.40	2.70	0.50	9.80	0.20	0.50	95	2.00	10.00	0.50
	GR41A-15-56b	C° Palo	1.1	0.20	1.00	0.20	4.90	0.20	0.50	17	2.00	10.00	0.50
	GR-41A-15-282b	C° Palo	2.59	0.44	2.29	0.55	7.86	0.20	0.50	43.85	3.53	0.00	0.50

4.4.3. Geoquímica de Elementos Trazas

4.4.3.1. Ambiente de Deposición

Para definir el ambiente depositacional en términos de circulación de oxígeno para las formaciones Pelado y Socosani se recolectaron muestras de los afloramientos de Quebrada Tocuco, Quebrada Palca, Cerro Palo, Quebrada Ammos y Cerro Palquilla. Uno de los gráficos que permite definir intervalos de discriminación en términos anóxicos, óxicos y disóxico, según lo propuesto por Rimmer (2004) (Figura 63).

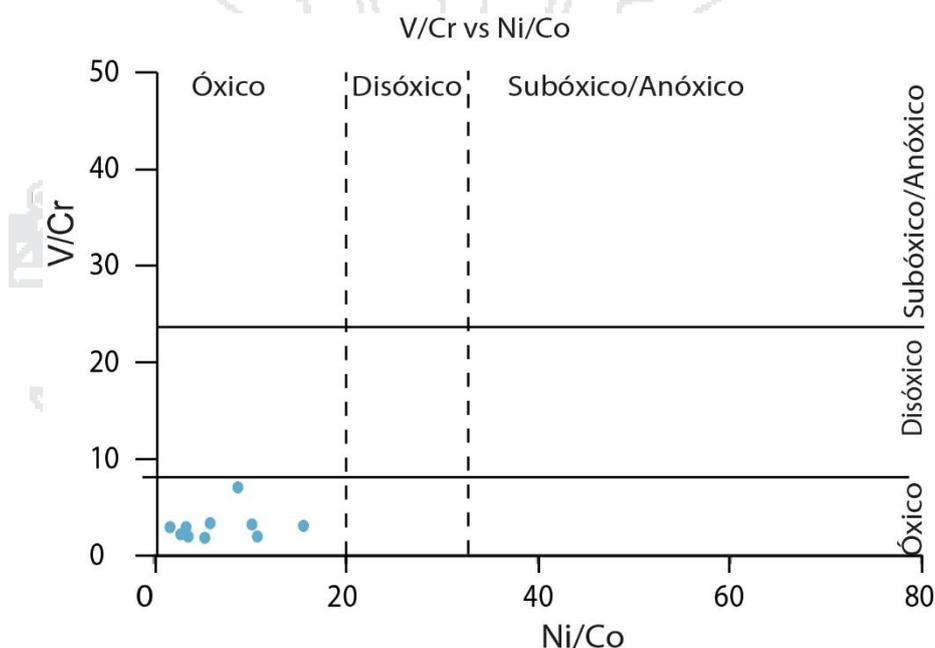


Figura 63: Relación V/Cr vs. Ni/Co para discriminación de condiciones redox. Las rocas carbonatadas de las formaciones Pelado y Socosani, según este gráfico se depositó en un medio óxico.

4.4.4. Geoquímica de Elementos Mayores

4.4.4.1. Silíceo

El contenido de sílice varía a partir de 72.89% a 13.89% (Cuadro 6) en las muestras estudiadas. El enriquecimiento anormal de SiO_2 se observa en las muestras recolectadas en las localidades de Quebrada Tocuco, Cerro Pelado y Quebrada Palca y revela la influencia de materiales terrígenos durante la sedimentación.

La concentración de SiO_2 exhibe un alto grado de correlación negativa con CaO (Figura 64; $r = -0.99$) e indica la disminución gradual del cuarzo detrítico y del enriquecimiento subsecuente de la calcita esto se observa en las muestras recolectadas en los sectores de Cerro Palquilla y Quebrada Ammos.

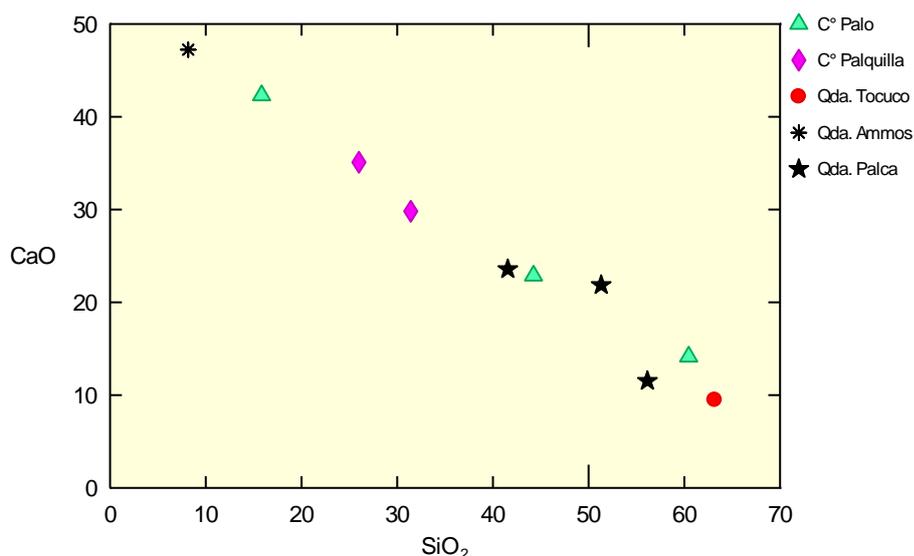


Figura 64: Diagrama bivalente SiO₂-CaO para las muestras de este estudio.

En el diagrama SiO₂ versus Al₂O₃ (Figura 65) las rocas carbonatadas exhiben una correlación positiva ($r=0.77$). Esto indica claramente la influencia de aluminosilicatos terrigenos sobre las rocas carbonatadas, estos se observan en las muestras recolectadas de los sectores de Cerro Palo, Quebrada Palca y Quebrada Tocuco.

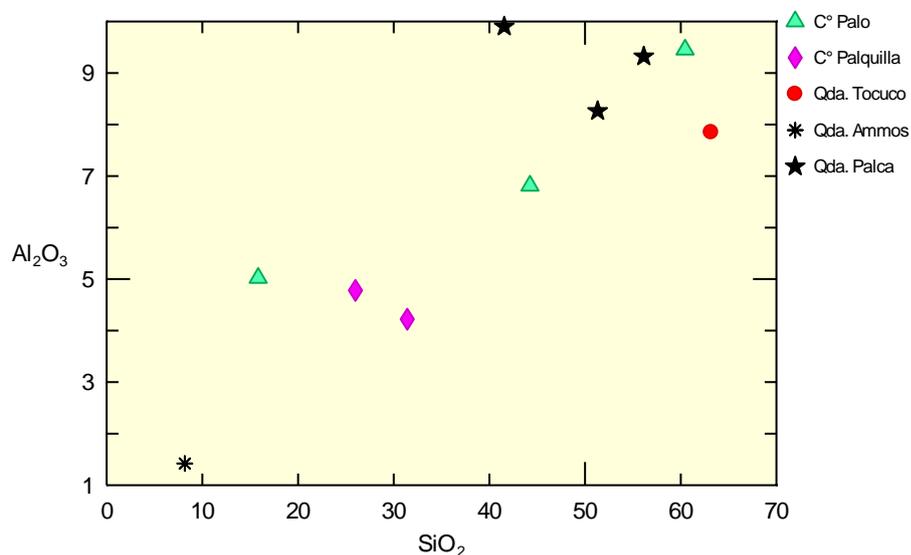


Figura 65: Diagrama bivalente SiO₂-Al₂O₃ para las muestras de este estudio.

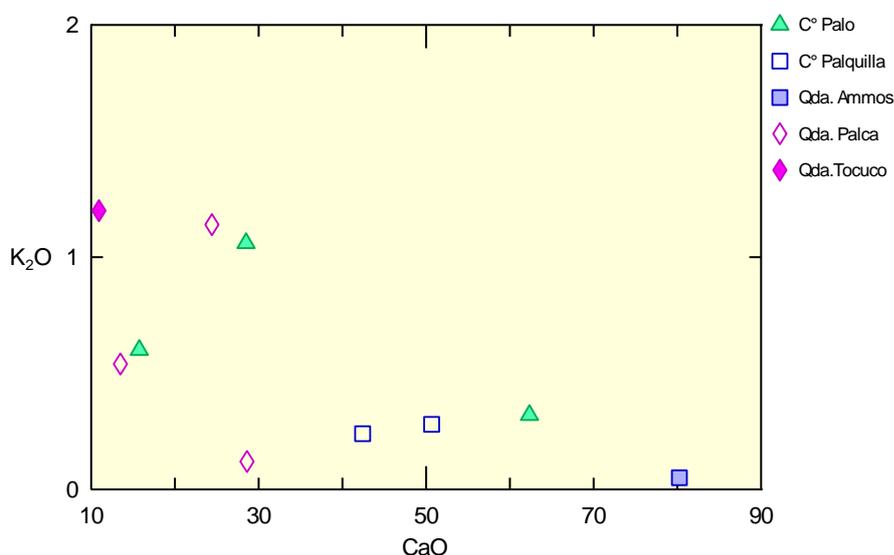
4.4.4.2. Aluminio

El aluminio no es normalmente substituido en el mineral del carbonato. La presencia de aluminio se relaciona directamente con la influencia de sedimentos detríticos que se encuentren en el ambiente depositacional (Botz et al., 1988). Buckley & Cranston (1991) sugirieron que las variaciones de Al_2O_3 en sedimentos se pueden asociar a los cambios en el contenido de arcilla.

Los valores de aluminio oscilan entre 9.90% a 1.42% (Cuadro 6). Estas tendencias sugieren variaciones en mezclas de sedimentos de fuente terrígenas. Los valores de CaO muestran tendencia opuesta al SiO_2 . Estos rangos van del 10.94% a 80.25% (Cuadro 6). El contenido del carbonato ha estado controlado por la afluencia terrígena.

El incremento de K_2O está asociado a la disminución de los valores del CaO y el aumento K_2O (Figura 66) se considera como un indicador de la presencia de arcilla y de los feldespatos. Los materiales terrígenos están en forma de residuo insoluble, por ejemplo, cuarzo, feldespato y materiales detríticos junto con ciertos minerales pesados, esto se observa en las muestras recolectadas en los sectores de Quebrada Palca, Cerro Palo y Quebrada Tocuco.

Figura 66: Diagrama bivalente CaO- K_2O para las muestras de este estudio.



Los valores de CaO muestran correlaciones negativas con SiO_2 ($r=-0.99$), Al_2O_3 ($r=-0.84$) y Na_2O ($r=-0.35$) e indica que los silicatos están permanentemente en la fracción insoluble y que, podría ser relacionada con la influencia detrítica durante la sedimentación.

El incremento de K_2O es asociado a decremento del valor del CaO y K_2O se considera por ser un indicador por la presencia de la arcilla y de los feldespatos. La relación antes dicha es debida a la adición de los materiales terrígenos, que habían controlado la deposición, y a la precipitación de carbonatos.

4.4.4.3. Magnesio

El contenido de Mg en las conchas fósiles depende de la posición filogenética de los organismos y también de la temperatura del agua en el ambiente (Chave, 1954). Por ejemplo, los esqueletos de algas contienen elevadas concentraciones de Mg y se conoce que las algas sobreviven a temperaturas cálidas y ambientes someros.

Chave (1954) afirmó que en las latitudes donde el mar este supersaturado con $CaCO_3$, los carbonatos meta-estables de organismos muertos frecuentemente son retrabajados sin recristalización y el sedimento entra como detritos de grano fino. El magnesio, originalmente depositado dentro de los esqueletos de organismos vivos, permanece comúnmente dentro de la roca a través del proceso de litificación. El magnesio, originalmente depositado dentro de los esqueletos de organismos vivos permanece comúnmente dentro de la roca a través del proceso de litificación.

El contenido del MaO varia de 0.86% a 4.18% (Cuadro 6). La correlación negativa entre SiO_2 y MgO ($r=-0.19$) (Figura 67) indica probablemente los procesos de silificación durante la etapa temprana de la diagénesis (Bowen & Bloch, 2002), el contenido relativamente bajo del magnesio en la muestra rocas carbonatadas de las formaciones Pelado y Socosani, indican que estas son producto de los ambientes depositacionales poco profundo, apoyado por nuestros estudios de análisis de facies.

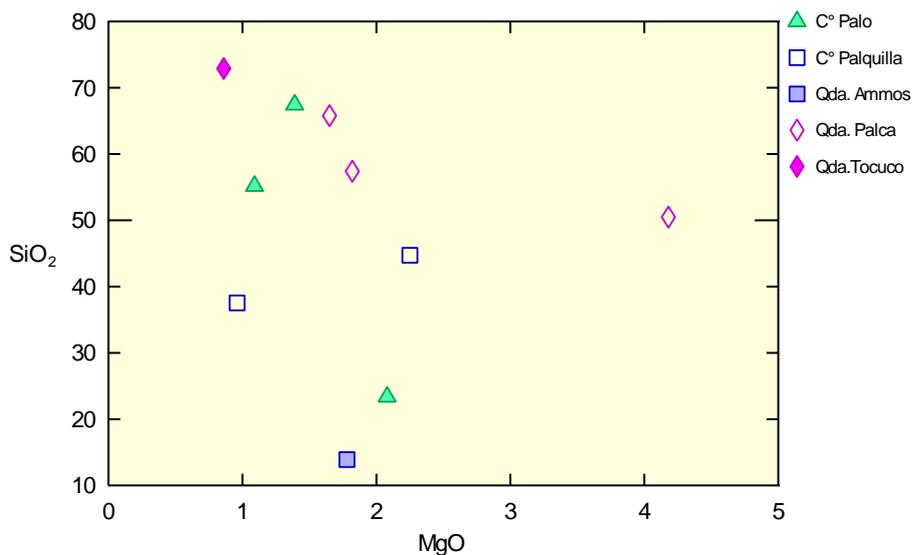
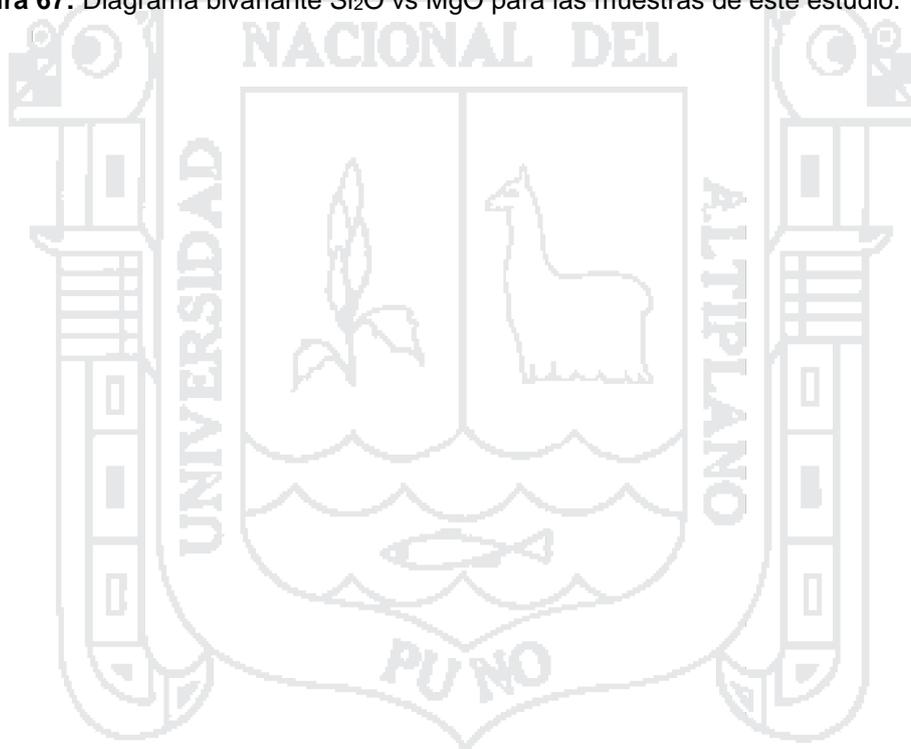


Figura 67: Diagrama bivariante Si₂O vs MgO para las muestras de este estudio.



CONCLUSIONES

Se han destacado los siguientes resultados significativos en las conclusiones: respecto a:

Análisis de facies

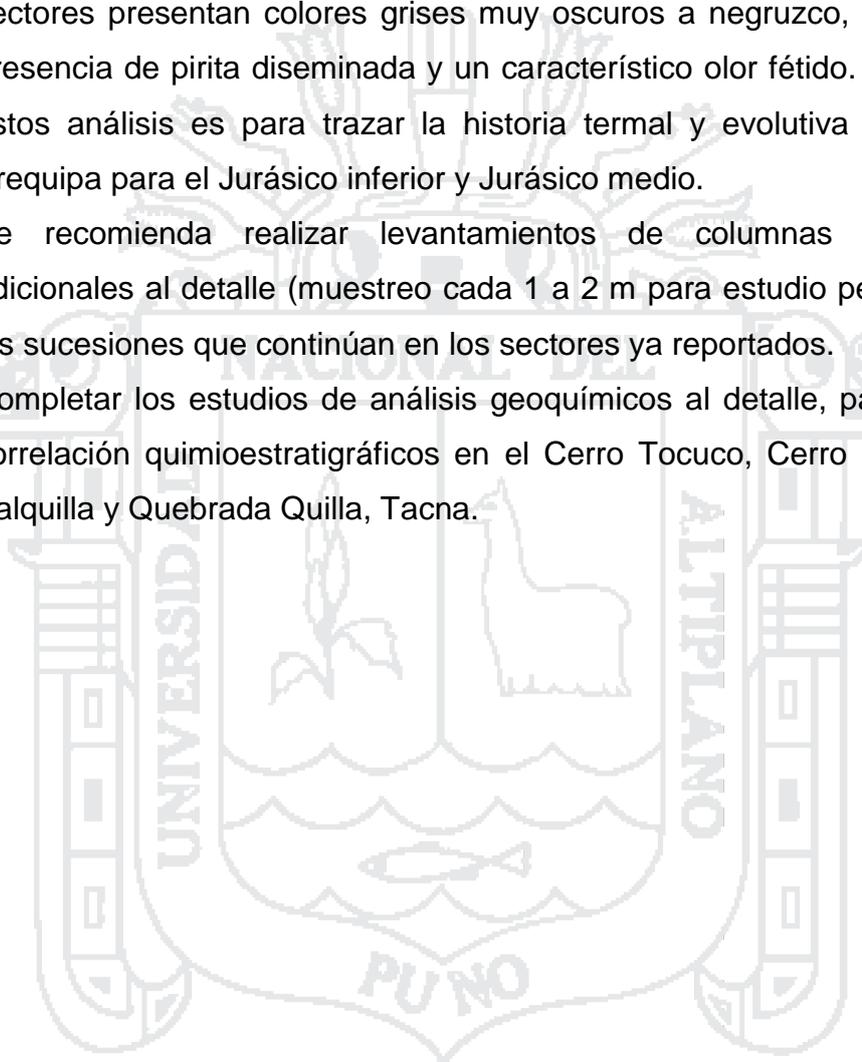
- Se han identificado quince facies carbonatadas, identificados con las letras A (lutitas - limolita), B (*wackestone*), C (*mudstone - wackestone*), D (*mudstone - wackestone* nódular), E (*mudstone*), F (*mudstone - wackestone*), G (*floatstone - rudstone - mudstone*), H (*packstone - mudstone*), I (*mudstone - wackestone - packstone*), J (limolitas calcáreas-*packstone*), K (margas-limolitas calcáreas -*packstone*), Q (*mudstone - wackestone*), R (limolitas - margas - *wackestone*), S (*wackestone*), T (limolitas - lutita) en las rocas jurásicas carbonatadas que afloran en las Quebradas Palquilla, Ammos y Tocuco y Cerro Pelado, en el departamento de Tacna.
- Los apilamientos de rocas sedimentarias carbonatadas de origen transgresivos (tales como las formaciones Socosani y Pelado) evidencian una fuerte tectónica distensiva que provoca una rápida transición de facies de plataforma carbonatada relativamente somero (Quebrada Palquilla, Quebrada Ammos y Cerro Pelado) a facies profundas de carbonatos pelágicos por la presencia de bivalvos del género *Bositra*, crinoideos, ammonites y las estructuras sedimentarias (Quebrada Tocuco). En la formación Socosani es frecuente las fallas normales sinsedimentarias (Quebrada Tocuco), nos indican que la cuenca sufrió un hundimiento ligado íntimamente a una tectónica distensiva que se produjo en el Toarciano y duro muy posiblemente hasta el Bajociano (Vicente, 1982; Salinas, 1985).
- Las formaciones Socosani y Pelado se depositaron en una plataforma carbonatada en donde las facies cambian lateralmente y reflejan que sus subambientes varían desde zonas de plataforma carbonatada proximal (interna) a plataforma carbonatada distal (externa). Por las características presentadas la plataforma carbonatada desarrollada en el Jurásico es de tipo rampa.

Geoquímica de elementos mayores y trazas

- Las concentraciones de SiO_2 muestra una correlación negativa con el CaO ($r = -0.99$), que indica la disminución gradual del cuarzo detrítico y del enriquecimiento subsiguiente de la calcita. También se observa una correlación positiva ($r=0.77$) entre SiO_2 y Al_2O_3 . Esto indica claramente la influencia de aluminosilicatos terrígenos. Esto se presenta en las muestras tomadas en los sectores de Quebrada Palca, Quebrada Tocuco y Cerro Palo, esto nos indica un cambio de facies en la plataforma carbonatada relacionado con la profundización de la plataforma carbonatada apoyado con el análisis de facies.
- Los valores del Mg son muy bajos, sugiriendo que el predominio de salinidad y/o agua dulce fueron bajos durante la diagénesis. En conclusión, el bajo contenido de Mg en las rocas carbonatadas de las formaciones Socosani y Pelado indica que son los productos de ambientes depositacionales marino somero.
- El gráfico propuesto por Rimmer (2004) permitió definir que las rocas carbonatadas de las formaciones Pelado y Socosani se depositaron en ambientes oxigenados, es decir se depositaron en un ambiente marino somero (Figura 63).

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis de carbono orgánico total (TOC) y estudios de pirolisis en donde las muestras sean más apropiadas, con énfasis en los sectores de Quebrada Ammos y Quebrada Tocuco, Cerro Pelado para descartar contenido de materia orgánica. Las calizas que afloran en estos sectores presentan colores grises muy oscuros a negruzco, además de la presencia de piritita diseminada y un característico olor fétido. El objetivo de estos análisis es para trazar la historia termal y evolutiva de la cuenca Arequipa para el Jurásico inferior y Jurásico medio.
- Se recomienda realizar levantamientos de columnas estratigráficas adicionales al detalle (muestreo cada 1 a 2 m para estudio petrográfico) en las sucesiones que continúan en los sectores ya reportados.
- Completar los estudios de análisis geoquímicos al detalle, para hacer una correlación quimioestratigráficas en el Cerro Tocuco, Cerro Pelado, Cerro Palquilla y Quebrada Quilla, Tacna.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvan, A., (2015). Geodynamic significance of the Cenozoic deposits in the southern Peruvian forearc (16°25'S to 17°15'S): constraints by facies analysis and sediment provenance. The Georg-August University of Göttingen, 8 p.
- Acosta, H., Alván, A., Hillebrandt, A. v., Riegraf, W. & Oviedo, M. (2009). Nuevos aportes en la sedimentología y paleontología de las Formaciones Chocolate y Socosani (Jurásico inferior a medio) en el Distrito de Yura, Arequipa (sur de Perú). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Vol. Especial N° 7 Víctor Benavides Cáceres; p. 43-62.
- Acosta, H., Alván, A., Oviedo, M., Mamani, M. & Rodríguez, J. (2011). Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca, hojas 36-v y 36-x. Boletín N° x, Serie A: Estudios Regionales, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima; 80 p.
- Alsharhan, A., Kendall, C., (1994). "Depositional Setting of the Upper Jurassic Hith Anhydrite of the Arabian Gulf: An Analog to Holocene Evaporites of the United Arab Emirates and Lake MacLeod of Western Australia." The American Association of Petroleum Geologists 78,7: 1075-1096.
- Benavides, V. (1962). Estratigrafía Pre-terciaria de la región de Arequipa. II Congreso Nacional de Geología, Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Tomo 38; p. 5-63.
- Benites, A. En preparación. Variaciones del nivel del Mar y Cronozonas de Amonites jurásicos en el sur de la cuenca Arequipa (sur de 17°) Perú: Esquema Evolutivo. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Piura, Facultad de Minas Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Perú.
- Botz, R., Stoffers, P., Feber, E. and Tietze, K., (1988). Isotope geochemistry of carbonate sediments from lake kivee (east Central Africa). Chemical Geology, v. 69, pp. 299-308.
- Bowen, G. J. and Bloch, J. (2002). Petrography and geochemistry of floodplain limestones from the Clarks Fork Basin, Wyoming, U.S.A.: Carbonate deposition and fossil accumulation on a Paleocene-Eocene floodplain Journal of Sedimentary Research, v. 72 (1), pp. 46-58.
- Buckley, D. E and Cranston, R. E., (1991). The use of grain size information in marine geochemistry. In: Principles, methods and applications of particle size analysis. Syvitski J. M. (Ed.), Cambridge Univ. Press, New York. Contributions of Geological Survey of Canada, no. 12689, pp. 311-331.
- Carlotto, V., Rodríguez, R., Acosta, H., Cardenas, J., Jaillard, E., (2009). "Alto estructural Totos-Paras (Ayacucho): Límite paleogeográfico en la evolución mesozoica de las cuencas Pucará (Triásico superior-Liásico) y Arequipa (Jurásico-Cretácico)." Boletín de la Sociedad Geológica del Perú Volumen Especial N. 7, Víctor Benavides Cáceres: 1-46 p.

- Chave, K. E., (1954). Aspects of the biogeochemistry of magnesium-part-1. Calcareous marine organisms. *Journal of Geology*, v. 62, pp. 266-283.
- Dunham, R.J., (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologist, Memoir 1*: 108-121.
- Embry, A.F., Klovan, J.E., 1971. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NW Territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geologists*, v. 19, p. 730-781.
- Fernandez-Lopez, S.R., (2014). Bajocian ammonoids from Pumani River area (Ayacuc. Palaeobiogeographical and palaeoenvironmental impl. For the Arequipa Basin. *Journal of South American Earth Sciences* 49 (2014) 51-62.
- Flügel, E. (2004). *Microfacies of Carbonate Rocks. Análisis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag, 976 p., Berlin-Heidelberg.
- Flügel, E. (1982) *Microfacies Analysis of Limestones*, 633. Springer-Verlag, Berlin.
- Flügel, E., Franz, H. E. & Ott, W. F. (1968) Review electron microscope studies of limestones. In: *Developments in Carbonate Sedimentology in Cen. Europe* (Ed. By G. Muller and G.M. Friedman) pp. 8-97. Springer – Verlag, Berlin.
- Folk, R.L., (1962). Spectral subdivision of limestones types, en Ham, W.E., (Ed.), *Classification of carbonate rocks*. En: *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1*, p. 62-84.
- Friedman, G. M., (1998). "Rapidly of marine carbonate cementation - implications for carbonate diagenesis and sequence stratigraphy: perspective." *Sedimentary Geology* 119: 1-4.
- Fürsich, F.T., (1982). Rhythmic Bedding and Shell Bed Formation in the Upper Jurassic of East Greenland. En Einsele, G y Seilacher, A. (eds.) *Cyclic and Event Stratification*, Springer.
- Hallsworth, C.R., Knox, R.W., 1999. Classification of sediments and sedimentary rocks, v. 3. In: *BGS Rock classification scheme*, British Geological Survey Research Report No. RR99-3.
- Hunter, V. A. and A. G. Plint (2007). A sequence stratigraphic model of a mixed clastic-carbonate shelf system: The Cretaceous Napo Formation, Oriente Basin, Ecuador.: 4.
- Jacay, J., Sempere, T., Husson, L., Pino, A. (2002). Structural Characteristics of the Incapuquio Fault System, Southern Peru. V *International Symposium on Andean Geodynamics*: 319-321p.
- Jaillard, O., (1994). La sedimentación carbonatada, elementos y procesos en plataformas, cuencas y lagos., curso de capacitación del convenio ORSTOM – Petroproducción.

- Jaworski, E., (1916). Beitrage zur Kenntniss des Jura in Sud-Amerika. Teil II, Spezieller, palaontologischer Teil. Neues Jahrb. Min., Beilage Band, vol. 40, pp; 364-456, pls. 5-8.
- Jenks, W.F., (1948). Geología de la hoja de Arequipa. Geology of the Arequipa Quadrangle of the Carta Nacional del Peru. Lima, Perú, Instituto Geológico del Perú. Boletín No. 9, 204 pp.
- Jiménez de C., (1994): Geoquímica de carbonatos relacionados con etapas de emersión. Tesis de Grado de Doctor. Universidad de Granada., p. 4.
- León, I. (1981). Antecedentes sedimentológicos del Jurásico-Cretácico inferior en la zona de Yura. Tesis de Bachiller, Universidad Nacional de San Agustín.
- McHreath, I. A. & James, N.P. (1984). Carbonate slopes. In: Facies Models (Ed. By R.G. Walker), pp. 245-257. Geoscience Canada.
- Miall, A.D., (1985). Architectural-Element Analysis: A new Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. Earth-Science Reviews, v. 22, p. 261-308.
- Miall, A.D., (1996). The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. Berlin, Germany, Springer Verlag, 582 pp.
- Monge, R., Cervantes, J., (2000). Memoria explicativa de la Geología del Cuadrángulo de Pachía (36-v) y Palca (36-x) y mapa geológico actualizado (Esc. 1:50 000). INGEMMET, Dirección de Geología Regional; 11 p.
- Pino, A., Sempere, T., Jacay, J., Fornari, M., (2004). "Estratigrafía, paleogeografía y paleotectónica del intervalo Paleozoico superior - Cretáceo inferior en el Area de Mal Paso - Palca (Tacna)." Sociedad Geológica del Perú Publicación Especial No. 5: 15-44.
- Posamentier, H. W., Vail, P.R., (1988). "Eustatic controls on clastic deposition II- Sequence and System Tract Models." The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists 42(Sea-Level Changes, An Integrated Approach, SEPM Special Publication): 125-154.
- Prinz, P., (1985). "Zur Stratigraphie und Ammonitenfauna der Pucara-Gruppe bei San Vicente (Depto. Junín, Peru)." Newsl. Stratigr. 14/3: 129-141.
- Read, J.F., (1985). Carbonate Platform Facies Models. AAPG Bulletin, v. 69, No. 1, pp. 1-21.
- Read. J.F., (1982) Carbonate platform of passive (extensional) continental margins: types, characteristics and evolution. Tectonophys. 81, 95-212.
- Ricken, W. y Eder, W., (1991). Diagenetic Modification of Calcareous Beds - an Overview. En Einsele, G., Ricken, W. y Seilacher, A. (eds.) Cycles and Events in Stratigraphy. Springer.

- Rimmer, S.M., (2004), Geochemical paleoredox indicators in Devonian-Mississippian black shales, Central Appalachian Basin (USA). *Chemical Geology* 206, 373-391.
- Rollinson, H., (1993) – Using Geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Essex: Longman Scientific & Technical. 352 p. Longman Geochemistry Series.
- Rosas, S., Fontboté, L., Tankard, A., (2007). Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucará Basin, central Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 24, 1-24 p.
- Salinas, E., (1985). Evolución paleogeográfica del Sur del Perú a la luz de los métodos de análisis sedimentológicos del departamento de Tacna. Tesis de Grado. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú, 205 pp.
- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornari, M., Carlotto, V., Jacay, J., Arispe, O., Néraudeau, D., Cardenas, J., Rosas, S., Jimenez, N., (2002). Late Permian–Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics. *Tectonophysics*, v. 345, 153-181 p.
- Teicher, C., (1958): Concept of facies. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 42: 2718-2744.
- Tucker et al., (1990) Carbonate Platforms. Facies, sequences and Evolución. *Spec. Publ. Int. Ass. Sedim.* 9. Blackwells. Oxford.
- Vargas, L., (1970). Geología del cuadrángulo de Arequipa (Hoja 33-s). Servicio de Geología y Minería de Perú (actualmente INGEMMET), Boletín N° 24, Serie A: Carta Geológica Nacional; 64 p. Verlag, 431-449, Berlin-Heidelberg. Verlag: 208-222, Berlín.
- Vera J., (1994) Estratigrafía: Principios y Métodos. Editorial Rueda. Madrid, España; 806 pp.
- Vicente, J. C., (2006). "Dynamic paleogeography of the Jurassic Andean basin: Pattern of regression and general considerations on main features." *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61: 408-437 p.
- Vicente, J.-C., (1981). Elementos de la Estratigrafía Mesozoica Sur-peruana. *Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico: Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur. Vol. 1; p. 319-351.*
- Vicente, J.-C., Beaudoin B., Chavez, A. & León, I., (1982). - La cuenca de Arequipa (Sur Perú) durante el Jurásico-Cretácico inferior. *Quinto Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina, Actas, I; p. 121-153.*
- Westermann, G.E.G., (1996). Ammonoid life and habitat. *Ammonoid Paleobiology*, (Landman, N.H., Tanabe, K., Davis, R.A., (Eds). New York: Plenum Press.), v. 13, pp. 607-707.

Wilson, J., García, W., (1962). Geología de los Cuadrángulos de Pachia y Palca. Boletín No. 4 de la Comisión de la Carta Geológica Nacional.

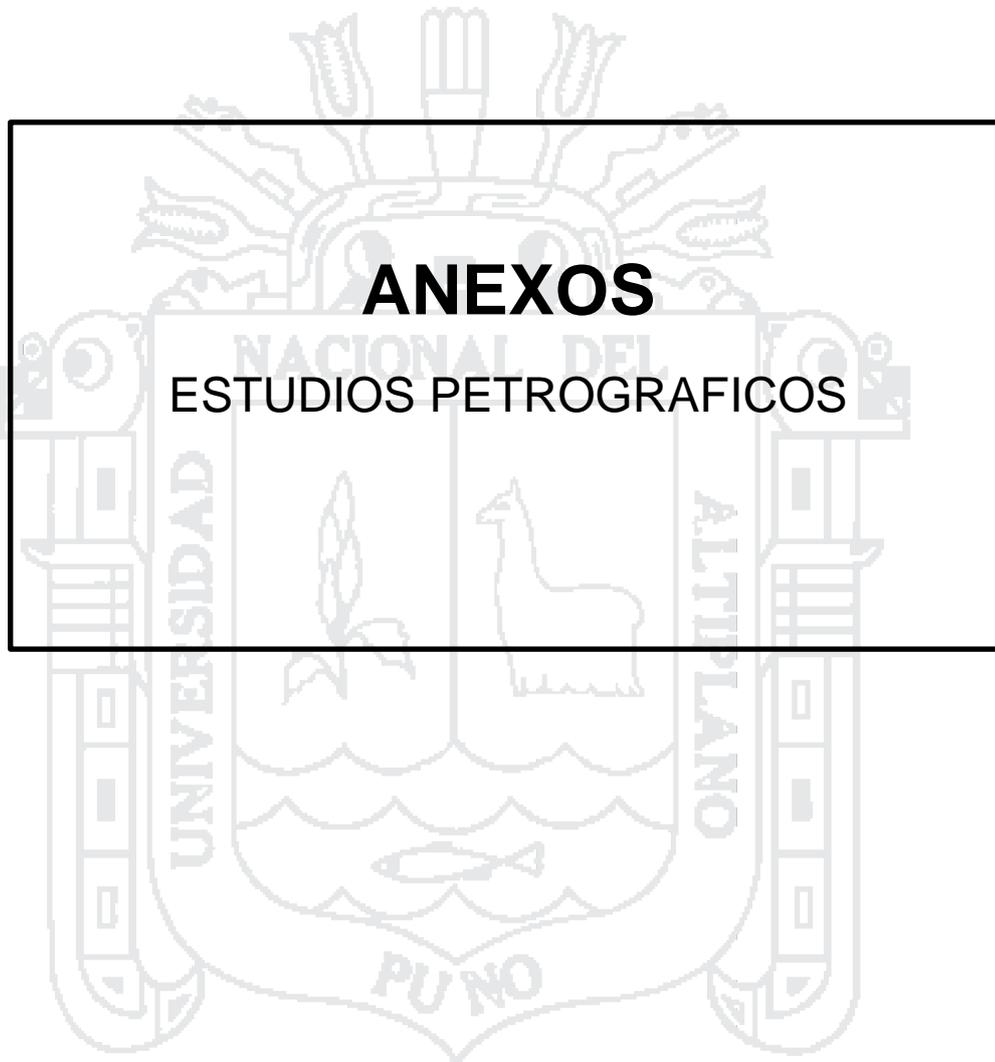
Wilson, J.L., (1975). Carbonate facies in geologic history. Springer Verlag, 471 pp.

Wittmann, S., (2001). Wechselwirkungen zwischen karbonatischer und vulkaniklastischer Sedimentation auf dem jurassischen Vulkanbogen in der chilenisch/peruanischen Küstenkordillere (Südamerika). Technischen Universität Berlin. PhD Thesis, 180 pp



ANEXOS

ESTUDIOS PETROGRAFICOS



A1. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-249.

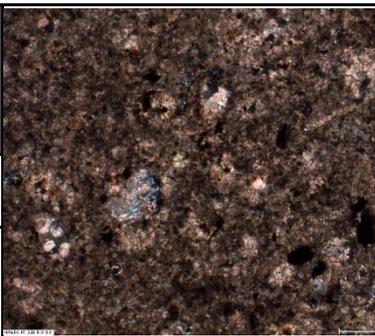
ESTUDIO PEROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-249	
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk (1962)		Caliza biomicrítica - espática	
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura matriz soportado, se observa moderado contenido de bioclastos (predominantemente crinoideos) reemplazados por calcita (micrítica y espática) y además algunos fragmentos detríticos (cuarzo, feldespatos) y minerales opacos.</p>			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~ 7%)	< 600	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> completos, irregulares dispersos en la roca. <u>Descripción:</u> son reemplazados por carbonatos.	Presenta remplazo parcial de óxidos
Carbonatos I (Matriz) (~83%)	<1	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica y por sectores por calcita espática, generalmente donde soporta la materia orgánica. La matriz micrítica contiene mayor cantidad de microfósiles y peloides.	Presenta impregnación de óxidos.
Granos detríticos (cuarzo, feldespato) (~5%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz.	Presenta remplazo parcial de óxidos
Minerales opacos (~5%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> como inclusiones en carbonatos I.	No se observa
<p>TEXTURAS: Con soporte de matriz, con bioclastos soportados por la matriz de lodo carbonatado.</p>			
<p>ALTERACIONES: Epidotización y carbonatación moderada en la matriz y granos.</p>			
<p>CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza <i>mudstone</i> (a <i>wackestone</i>?) bioclástica.</p>			
<p>POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: La bioclastos consisten en crinoideos (~7%) reemplazados por carbonatos.</p>			



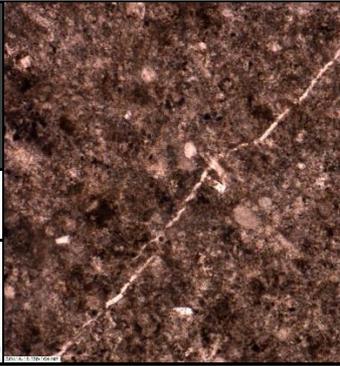
A2. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-252.

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA	GR41A-15-252		
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk (1962)	Caliza bioespático		
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, con soporte de granos, constituida por bioclastos (crinoideos, foraminíferos, briozoarios) reemplazados por calcita (micrítica, espática), granos carbonatados ~ 43%, arcilla y/o materia orgánica ~20%, granos detríticos (cuarzo) ~1% y minerales opacos ~5% junto a la matriz.</p>			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO O (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~31%)	< 600	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> completos, irregulares dispersos en la roca. <u>Descripción:</u> son reemplazados por carbonatos.	Presenta reemplazo parcial de óxidos.
Carbonatos (granos) (~43%)	<1	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> redondeadas a subredondeadas. <u>Descripción:</u> aparece en forma de granos subredondeados, generalmente rellenos de calcita espática.	Presenta reemplazo alta por calcita
Minerales opacos (~5%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares a redondeadas. <u>Descripción:</u> se encuentran como inclusiones en la matriz.	No presenta
Materia orgánica? y/o arcillas (~20%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> disperso en la roca junto a la matriz.	No presenta
Minerales criptocristalinos (cuarzo) (~1%)	<250	<u>Cristales:</u> microcristales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos.
TEXTURAS: Grano soportado.			
ALTERACIONES: Oxidación moderada.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza <i>grainstone</i> bioclástica.			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: La mayor parte de los bioclastos consisten (~25%) en crinoideos de hasta 0.029mm de dimensión, foraminíferos ~5%, briozoarios ~1%.			

A3. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-253.

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-253	
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk (1972)		Caliza microespática y/o micrítica fosilífera	
			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura matriz soportado, constituido por bioclastos (crinoideos, ammonite), minerales opacos ~5%, impregnado por óxidos ~2%.			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Carbonatos I (Matriz) (~90%)	<5	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> La matriz está compuesta por calcita micrítica y por zonas por calcita espática.	Impregnado por óxidos
bioclastos (~3%)	<100	<u>Cristales:</u> Anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> redondeadas a subredondeadas. <u>Descripción:</u> Se presenta en forma de granos redondeados a elipsoidales, generalmente rellenos de calcita espática y óxidos.	Presenta remplazo parcial de óxidos
Minerales Opacos (~5%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares a redondeadas. <u>Descripción:</u> se encuentran como inclusiones en la matriz.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
Óxidos (~2%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz.	-
TEXTURAS: Con soporte de matriz.			
ALTERACIONES: Epidotización y oxidación moderada en la matriz.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza <i>mudstone</i> .			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: La bioclastos consisten en ammonite (reemplazados por carbonatos) ~1% de hasta 2.528mm de dimensión y crinoideos ~2% .			

A4. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-260.

ESTUDIO PETROGRÁFICO				
CODIGO MUESTRA	GR41A-15-260			
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk (1962)	Caliza bioespático			
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura grano soportado, constituida por bioclastos (crinoideos) reemplazados por calcita micrítica y espática, minerales opacos, granos detríticos (cuarzo), disperso en la matriz. Se ha reconocido venas rellenas por calcita micrítica – espática hasta dos generaciones de similar composición y diferente espesor.</p>				
MINERALOGIA				
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN	
Bioclastos (~2%)	<250	<p><u>Cristales:</u> Anhedrales. <u>Formas:</u> redondeadas a subredondeadas. <u>Descripción:</u> aparece en forma de granos redondeados a elipsoidales, generalmente rellenos de calcita espática.</p>	Presenta impregnación de óxidos.	
Carbonatos I (Matriz) (~75%)	<5	<p><u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica y espática.</p>	Presenta impregnación de óxidos.	
Carbonatos II (~2%)	<20	<p><u>Cristales:</u> anhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> ocurre en forma de venas.</p>	No presenta	
Carbonatos III (~3%)	<50	<p><u>Cristales:</u> anhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> ocurre en venas; cortando a las generaciones preexistentes de carbonatos.</p>	No presenta	
Granos detríticos (Cuarzo) (~3%)	<100	<p><u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz.</p>	Presenta reemplazo parcial de óxidos.	
Minerales opacos (~10%)	-	<p><u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz.</p>	Presenta impregnación de óxidos	
<p>TEXTURAS: Con soporte de granos.</p>				
<p>ALTERACIONES: Oxidación moderado.</p>				
<p>CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza <i>grainstone</i>.</p>				
<p>POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: Los bioclastos consisten (~2%) en crinoideos.</p>				

A5. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-259.

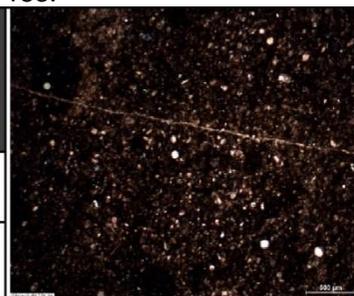
ESTUDIO PETROGRÁFICO							
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-259					
CLASIFICACIÓN ROCA		Caliza areno-limolítica					
							
				DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca carbonatada detrítica, textura matriz soportado, constituido por bioclastos (crinoideos), granos detríticos (cuarzo, feldespatos), carbonatos (en forma de parches), minerales opacos, arcillas, materia orgánica, la matriz se encuentra impregnado por óxidos.			
				MINERALOGIA			
				MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
				Bioclastos (~3%)	<250	<u>Cristales:</u> Anhedrales. <u>Formas:</u> redondeadas a subredondeadas. <u>Descripción:</u> aparece en forma de granos redondeados a elipsoidales, generalmente rellenos de sílice.	Presenta impregnación de óxidos.
				(Matriz) (~30%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> irregulares, masivas <u>Descripción:</u> Se encuentra conformando la matriz de la roca asociados óxidos de hierro y arcillas.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
				Carbonatos II (granos) (~20%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> irregulares, masivas <u>Descripción:</u> Se encuentra conformando la matriz de la roca asociados óxidos de hierro y arcillas.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
Granos detríticos (Cuarzo, feldespato) (~20%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz.	Presenta reemplazo parcial de óxidos.				
Arcillas (~25%)	-	<u>Cristales:</u> agregados. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> agregados criptocristalinos que se presentan en toda la roca, se encuentran asociados a la materia orgánica y óxidos de hierro	No presenta				
Minerales opacos (~2%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares a redondeadas. <u>Descripción:</u> se encuentran como inclusiones en la matriz.	Presenta reemplazo parcial de óxidos.				
TEXTURAS: Granular							
ALTERACIONES: Oxidación moderada en la matriz.							
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): -							
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: Los bioclastos consisten (~3%) de crinoideos.							

A6. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-263.

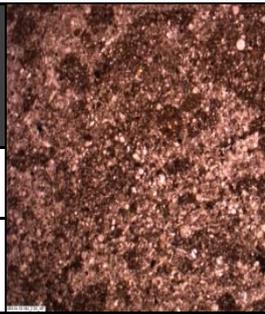
ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA	GR41A-15-263		
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk (1962)	Caliza microespática		
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura matriz soportado, constituida por bioclastos (crinoideos redondeadas a subredondeadas reemplazados por calcita micrítica y espática, granos detríticos (cuarzo), minerales opacos. Se ha reconocido hasta tres generaciones de venas rellenas por calcita micrítica – espática.</p>			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~3%)	<100	<u>Cristales:</u> Anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> redondeadas a subredondeadas. <u>Descripción:</u> aparece en forma de granos redondeados a elipsoidales, generalmente rellenos de calcita espática.	Presenta impregnación de óxidos.
Carbonatos I (Matriz) (~71%)	<5	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica	Presenta impregnación de óxidos.
Carbonatos I (~3%)	0.064 mm	<u>Cristales:</u> anhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> ocurre en venas; cortando a las generaciones preexistentes de carbonatos, con espesores de hasta ~0.064mm.	Presenta impregnación de óxidos.
Carbonatos II (~3%)	0.043mm	<u>Cristales:</u> anhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> ocurre en venas; cortando a las generaciones preexistentes de carbonatos, con espesores de hasta ~0.043mm.	Presenta impregnación de óxidos.
Carbonatos III (~3%)	0.043mm	<u>Cristales:</u> anhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> ocurre en venas; cortando a las generaciones preexistentes de carbonatos, con espesores de hasta ~0.043mm.	Presenta impregnación de óxidos.
Minerales opacos (~10%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares a redondeadas. <u>Descripción:</u> se observó granos de pirita de 0.049mm de dimensión en forma cubica como inclusiones en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos.
Minerales detríticos (cuarzo) (~5%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> se observó granos de pirita en forma cubica como inclusiones en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos.
TEXTURAS: Lodosa a granular.			
ALTERACIONES: Oxidación moderada en la matriz.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza wackestone			

A7. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-183.

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-183	
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk (1962)		Caliza biopelmicritica - espática	
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura matriz soportado constituido por bioclastos (crinoideos, espículas de equinoideo, calciesferas?) reemplazados por calcita (micritica, espática), arcillas, granos detríticos, inmersa en una matriz micrítica y espática. Se ha reconocido venas rellenas por calcita micrítica – espática.</p>			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~17%)	<0.5	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> completos, irregulares dispersos en la roca. <u>Descripción:</u> son reemplazados por carbonatos, se trata en su mayoría de calciesferas.	Presenta impregnación de óxidos.
Carbonatos I (Matriz) (~69%)	<1	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica y por sectores por calcita espática.	Presenta impregnación de óxidos.
Carbonatos II (~1%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> ocurre en forma de venas, con espesores de hasta ~40 µm.	Presenta impregnación de óxidos.
Arcillas (~8%)	-	<u>Cristales:</u> Criptocristalinos. <u>Formas:</u> agregados. <u>Descripción:</u> se encuentra disperso en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos.
Granos detríticos (Cuarzo + Feldespato) (~5%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares, angulosos a subangulosos. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz	Presenta impregnación de óxidos.
TEXTURAS: Matriz soportado con impregnación de óxidos.			
ALTERACIONES: Oxidación moderada en la matriz.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza wackestone			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: El contenido bioclástico en general es ~17%. La mayor parte de los bioclastos consisten (~15%) en crinoideos, espinas de equinoideos (~1%) y calciesferas? (~1%).			

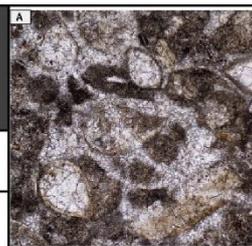


A8. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-184.

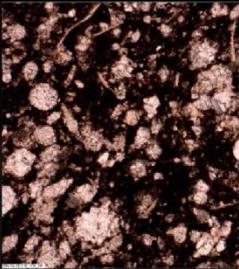
ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-184	
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk (1962)		Caliza biopelmicrita espática – oomicrita espática.	
			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~8%)	< 600	<u>Cristales:</u> anhedrales. <u>Formas:</u> completos, irregulares dispersos en la roca. <u>Descripción:</u> bioclastos son reemplazados por carbonato de calcio, se tratan en su mayoría de calciesferas.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
Carbonatos I (Matriz) (~80%)	<5	<u>Cristales:</u> anhedrales. <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica y por sectores por calcita espática	Presenta impregnación de óxidos.
Carbonatos II (Cemento) (~5%)	>5	<u>Cristales:</u> anhedrales. <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita espática.	Presenta impregnación de óxidos.
Minerales opacos (~2%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares a redondeadas. <u>Descripción:</u> se encuentran como inclusiones en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos.
Granos detríticos (~5%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> granos dispersos en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos.
TEXTURAS: con soporte de matriz.			
ALTERACIONES: Oxidación moderada.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza <i>wackestone</i> .			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: La mayor parte de los bioclastos consisten (~5%) en crinoideos y calciesferas ~3% (alteración de radiolarios y/o órganos reproductores de las algas <i>dasicladáceas</i>).			

A9. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-87.

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-87	
CLASIFICACIÓN ROCA Según Folk 1962		Caliza biomicrita-espático	
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada constituida por abundantes bioclastos (ostrácodos, protoconcha de ammonitella, bivalvos), granos detríticos (feldespatos, cuarzo), arcillas y minerales opacos inmerso en la matriz.</p>			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~30%)	<100	<u>Cristales:</u> redondeados a subredondeados. <u>Formas:</u> completos, irregulares dispersos en la roca. <u>Descripción:</u> son reemplazados por carbonatos.	Presenta remplazo parcial de óxidos
Carbonatos I (Matriz) (~50%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica y por sectores por calcita espática.	Presenta remplazo parcial de óxidos
Granos detríticos (cuarzo+feldespato) (~2%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> disperso en la matriz alterándose a óxidos	Presenta remplazo parcial de óxidos
Minerales opacos (~10%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares a redondeadas. <u>Descripción:</u> se encuentran como inclusiones en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos.
Epidota (~3%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> se encuentran como inclusiones en la matriz.	Presenta remplazo parcial de óxidos
Arcillas (~5%)	-	<u>Cristales:</u> - <u>Formas:</u> irregulares a masiva. <u>Descripción:</u> disperso en la matriz alterándose a óxidos.	Presenta remplazo parcial de óxidos
TEXTURAS: Con soporte de grano.			
ALTERACIONES: Oxidación moderada en la matriz y parcialmente en los granos.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza packstone bioclástico.			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: En su mayoría consta de ostrácodos (~20%), protoconcha de ammonitella (~5%), bivalvos (~5%).			

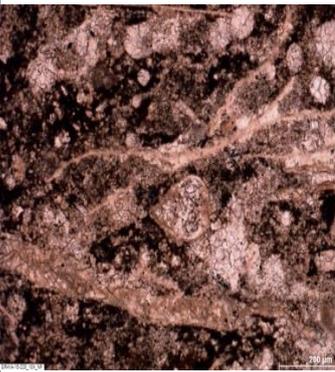


A10. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-218.

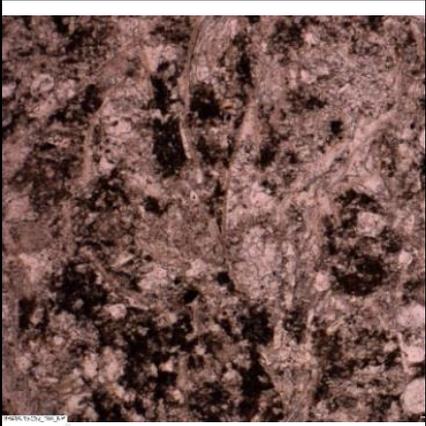
ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-218	
CLASIFICACIÓN ROCA Según Folk 1962		Caliza biomicrita-espático	
			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada constituida por abundantes bioclastos (calciesferas), granos detríticos, arcillas y minerales opacos.			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~40%)	<100	<u>Cristales:</u> redondeados a subredondeados. <u>Formas:</u> completos, irregulares dispersos en la roca. <u>Descripción:</u> son reemplazados por carbonatos.	Presenta remplazo parcial de óxidos
Carbonatos I (Matriz) (~15%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica y por sectores por calcita espática.	Presenta remplazo parcial de óxidos
Granos detríticos (cuarzo+feldespato) (~10%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> disperso en la matriz alterándose a óxidos	Presenta remplazo parcial de óxidos
Arcillas (~35%)	-	<u>Cristales:</u> - <u>Formas:</u> irregulares a masiva. <u>Descripción:</u> disperso en la matriz alterándose a óxidos.	Presenta remplazo parcial de óxidos
TEXTURAS: Con soporte de grano.			
ALTERACIONES: Oxidación moderada en la matriz y parcialmente en los granos.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza packstone bioclástico.			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: En su mayoría consta de crinoideos (~20%), calciesferas ~15%, concha de bivalvos pelágicos ~5%.			



A11. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-220

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-220	
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk (1962)		Caliza biomicrita -espática	
			
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura grano soportado constituida por bioclastos (calciesferas, ostrácodos, crinoideos, concha de bivalvos pelágicos foraminíferos, espículas de equinoideo) remplazados por carbonatos (micrítica - espática) y minerales opacos.</p>			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~57%)	<200	<u>Cristales:</u> - <u>Formas:</u> irregulares, completos y fragmentarios. <u>Descripción:</u> son reemplazados por carbonatos.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
Carbonatos I (granos) (~35%)	<1	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica y por sectores por calcita espática.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
Minerales opacos (~8%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares a redondeadas. <u>Descripción:</u> se encuentran como inclusiones en la matriz.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
TEXTURAS: con soporte de granos.			
ALTERACIONES: Epidotización y oxidación moderada en la matriz y granos.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza <i>packstone</i> bioclástico.			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: El contenido bioclástico en general es ~57%. La mayor parte de los bioclastos consisten en crinoideos (~20%), calciesferas (~15%), ostrácodos (~10%), foraminíferos (~1%) concha de bivalvos pelágicos (~10%), espículas de equinoideo (~1%).			

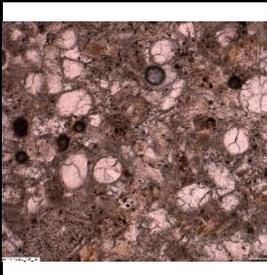
A12. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-232

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA	GR41A-15-232		
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk (1962)	Caliza biomicrítica - espática		
			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura grano soportado, constituida por bioclastos (calciesferas, ostrácodos, bivalvos pelágicos) reemplazados por calcita micrítica y espática, minerales opacos, disperso en la matriz.			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~63%)	<250	<u>Cristales:</u> Anhedrales. <u>Formas:</u> redondeadas a subredondeadas. <u>Descripción:</u> aparece en forma de granos redondeados a elipsoidales, generalmente rellenos de calcita espática.	Presenta impregnación de óxidos.
Carbonatos I (Matriz) (~29%)	<5	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita espática.	Presenta impregnación por arcillas
Minerales opacos (~8%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos
TEXTURAS: Con soporte de granos.			
ALTERACIONES: Oxidación moderado.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza <i>packstone</i> bioclástico.			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: La mayor parte de los bioclastos consisten, ~50% de bivalvos pelágicos (se observa las conchas en forma de curvas, han sido apilado juntos), ~10% en calciesferas (alteración de radiolarios y/o órganos reproductores de las algas dasicladáceas) ostrácodos ~3%.			

A13. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-237.

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-237	
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk (1962)		Caliza biomicrítica - espática	
			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura grano soportado, constituida por bioclastos (calcíesferas) reemplazados por calcita micrítica y espática, granos detríticos de cuarzo y minerales opacos. Se ha reconocido una generación de venilla de espesor 0.120 mm reemplazada por calcita espática.			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~45%)	<250	<u>Cristales:</u> Anhedrales. <u>Formas:</u> redondeadas a subredondeadas. <u>Descripción:</u> aparece en forma de granos redondeados a elipsoidales, generalmente rellenos de calcita espática.	Presenta impregnación de óxidos.
Carbonatos I (Matriz) (~42%)	<5	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica	Presenta impregnación de óxidos.
Granos detríticos (cuarzo, feldespatos) (~3%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos
Minerales opacos (~10%)	<250	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> se presenta en forma cubica a subredondeado disperso en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos
TEXTURAS: Grano soportado			
ALTERACIONES: Oxidación moderado.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza <i>packstone</i> bioclástico.			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: La mayor parte de los bioclastos consisten (~45%) en calcíesferas (alteración de radiolarios y/o órganos reproductores de las algas <i>dasicladáceas</i>).			

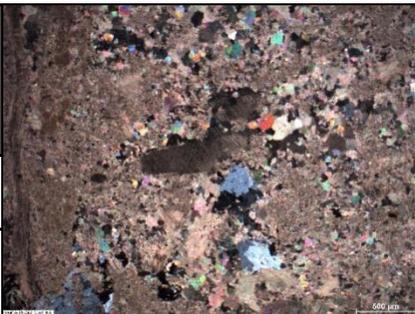
A14. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-230.

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-230	
CLASIFICACIÓN ROCA Según Folk (1962)		Caliza biomicrita - espática	
			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura granosoportado con espacios rellenos por matriz micrítica, constituida principalmente bioclastos (calciesferas, oolitos) reemplazados por calcita (micrítica, espática), granos detríticos (cuarzo, feldespato), minerales opacos dispersos en la matriz.			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~45%)	< 600	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> completos, irregulares dispersos en la roca. <u>Descripción:</u> son reemplazados por carbonatos, se trata en su mayoría de calciesferas.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
Carbonatos I (Matriz) (~44%)	< 5	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica y por sectores por calcita espática	Presenta impregnación de óxidos.
Granos detríticos (cuarzo, feldespato) (~5%)	< 100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> disperso en la matriz, también se encuentran granos compuestos por cuarzo criptocristalino.	Presenta impregnación de óxidos.
Minerales opacos (~5%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares a redondeadas. <u>Descripción:</u> se encuentran como inclusiones en la matriz.	Presenta impregnación de óxidos
Granos irregulares (Parches) (~1 %)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
TEXTURAS: con soporte de granos.			
ALTERACIONES: Oxidación moderada			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza <i>packstone</i> bioclástico.			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: La mayor parte de los bioclastos consisten (~45%) en calciesferas (alteración de radiolarios y/o órganos reproductores de las algas dasicladáceas), oolitos (~1 %).			

A15. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-233.

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA	GR41A-15-233		
CLASIFICACIÓN ROCA Embry & kloven (1971)	Caliza <i>Floatstone</i>		
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura matriz soportado, constituida por bioclastos reemplazados por calcita (micrítica, espática), en un 10% de sus componentes bioclásticos es de dimensiones mayores a 2 mm.</p>			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMÁN O (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Bioclastos (~75%)	< 600	<p><u>Cristales:</u> anhedrales</p> <p><u>Formas:</u> completos, irregulares dispersos en la roca.</p> <p><u>Descripción:</u> son reemplazados por carbonatos.</p>	Presenta remplazo parcial de óxidos.
Carbonatos I (Matriz) (~15%)	<1	<p><u>Cristales:</u> anhedrales</p> <p><u>Formas:</u> en agregados.</p> <p><u>Descripción:</u> la matriz está compuesta por calcita micrítica y por sectores por calcita espática, la matriz micrítica contiene mayor cantidad de microfósiles.</p>	Presenta impregnación de óxidos.
Minerales opacos (~10%)	<100	<p><u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales.</p> <p><u>Formas:</u> irregulares a redondeadas.</p> <p><u>Descripción:</u> se encuentran como inclusiones en la matriz y en forma de venas con espesores de <100 µm.</p>	Presenta remplazo parcial de óxidos.
TEXTURAS: Bioclástica con matriz micrítica y espática.			
ALTERACIONES: Oxidación moderada y carbonatación insípida.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962):-			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: La mayor parte de los bioclastos consisten (~40%) en bivalvos, gasterópodos en ~10%, espinas de equinoideo ~5%, briozoarios ~7%, algas verdes ~10%, crinoideos ~3%..			

A16. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA MUESTRA GR41A-15-242.

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA		GR41A-15-242	
CLASIFICACIÓN ROCA según Folk 1972		Caliza espática-micrítica	
			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca sedimentaria carbonatada, textura granular y por sectores matriz soportado, constituido por bioclastos (algas verdes dasycladacea, espículas de equinoideo, braquiópodos (como cabello)?), granos detríticos (cuarzo), minerales opacos.			
MINERALOGIA			
MINERAL (%)	TAMAÑO (µm)	CARACTERÍSTICAS Y OCURRENCIAS	ALTERACIÓN
Carbonatos I (Matriz) (~85%)	<5	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> La matriz está compuesta por calcita micrítica	Impregnado por óxidos
Carbonatos II (Cemento) (~4%)	>5	<u>Cristales:</u> anhedrales <u>Formas:</u> en agregados. <u>Descripción:</u> Está compuesta por calcita espática.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
Bioclastos (~7%)	<100	<u>Cristales:</u> Anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> redondeadas a subredondeadas. <u>Descripción:</u> Se presenta en forma de granos redondeados a elipsoidales, generalmente rellenos de calcita espática y óxidos.	Presenta remplazo parcial de óxidos
Minerales Opacos (~1%)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales. <u>Formas:</u> irregulares a redondeadas. <u>Descripción:</u> se encuentran como inclusiones en la matriz.	Presenta remplazo parcial de óxidos.
Granos detríticos (Cuarzo) (~3%)	<100	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales, masivas. <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Los granos de cuarzo se encuentran junto a los bioclastos.	Presenta remplazo parcial de óxidos
Óxidos (Trazas)	-	<u>Cristales:</u> anhedrales a subhedrales <u>Formas:</u> irregulares. <u>Descripción:</u> Disperso en la matriz.	-
TEXTURAS: Granular (con soporte de granos).			
ALTERACIONES: Oxidación moderada en la matriz.			
CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM (1962): Caliza <i>grainstone</i> .			
POBLACIÓN PALEONTOLÓGICA: La bioclastos consisten en algas verdes de la familia dasycladaceas (~1%), espículas de equinoideo (<1%), fragmentos de braquiópodos (como cabello)? ~5%.			