

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**“ESTUDIO LITOSTRATIGRAFICO DE LA FORMACION ARCURQUINA
EN CALLIMURO PARA DETERMINAR LAS SECUENCIAS DE ROCAS
GENERADORAS DIST. LAYO - PROV. CANAS, DPTO. CUSCO - 2019”**

PRESENTADO POR:

-BR. ROSMERY MAQUERHUA MANTILLA
-BR. ANALI BALVINA CCOA YUCRA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

Dr. RÓMULO ESCOBEDO ZAPANA

CUSCO - PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado: "ESTUDIO LITOSTRATIGRAFICO DE LA FORMACION ARURQUINA EN CALLUMURO PARA DETERMINAR LAS SECUENCIAS DE ROCAS GENERADORAS DIST. LAYO - PROV. CANAS, DPTO. CUSCO - 2019"

presentado por: Anali Balvina Coa Yucra / Rosmery Maguerhua Mantilla

con Nro. de DNI: 47812796/48203682, para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 107%

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

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

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 14 de Julio de 2023



Firma

Post firma: Romulo Escobedo Zapana

Nro. de DNI: 23846909

ORCID del Asesor: 0000-0003-3724-2831

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:245515387

NOMBRE DEL TRABAJO

Estudio Litoestratigrafico de la Formacio
n Arcurquina en Callimuro para determin
ar las secuencias de

AUTOR

Ccoa A.- Maquerhua R.

RECUENTO DE PALABRAS

27669 Words

RECUENTO DE CARACTERES

171399 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

156 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.3MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 11, 2023 5:12 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 11, 2023 5:14 PM GMT-5

● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 10% Base de datos de Internet

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Material bibliográfico
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de trabajos entregados
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)

Resumen

El área de estudio se encuentra al Sureste de la ciudad del Cusco, pertenece al sector Callimuro, comunidad de Limbani, distrito de Layo, provincia de Canas y región del Cusco. Geográficamente está registrado en proyección WGS 84, zona 19S y franja 30t con las coordenadas UTM Este: 271357 y Norte: 8384210, con una altitud media de 4558 msnm. Según la Autoridad Nacional del Agua, la zona de estudio se encuentra dentro de la cuenca de Urubamba, sub cuenca Vilcanota y el río Vilcanota.

Morfoestructuralmente se encuentra en el altiplano inter-montañosa complejo estructurado por tectónica de corrimiento Rochat et al. (1998); Rochat (2002), donde se identificó las unidades geomorfológicas locales en la zona de Callimuro montañas altas y bajas, colinas altas y bajas, pie de monte, terrazas y llanuras aluviales y fluviales. La zona de estudio se encuentra en el alto Cusco-Puno controladas por dos sistemas de fallas regionales Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri Carlotto et al. (2009), como falla local se tiene a la falla de Langui layo con dirección andina.

Las unidades litoestratigráficas locales identificados en la zona son: depósitos cuaternarios (aluviales y coluviales), Grupo Puno, Formación Muñani y la Formación Arcurquina.

Para el estudio litoestratigráfico de la Formación Arcurquina se levantó una columna estratigráfica a una escala 1/250, donde se pudo identificar 3 Miembros diferenciándolos por el contenido fosilífero. Miembro A, con una potencia de 150 m, con 3 secuencias: A1 (calizas margosas y calizas bituminosas orgánicas de tipo wackestone con bioclastos de foraminíferos y bivalvos en 15 cm, las cuales indican un ambiente sedimentario de plataforma profunda), A2 (calizas bituminosas de tipo wackestone con bioclastos de corales y algas en 20cm, las cuales indican un ambiente sedimentario de plataforma profunda) y A3 (caliza bituminosa de tipo wackestone sin ningún resto fósil, el cual indica un ambiente de plataforma profunda). Miembro B, con una potencia de 200 m con una sola secuencia: B1 (calizas brechadas y calizas de tipo mudstone con peloides de 20 a 30 cm, indican un ambiente de plataforma somera) y Miembro C, con una potencia de 120 m con una sola secuencia: C1 (calizas brechadas y calizas de tipo mudstone sin ningún resto fósil, indican un ambiente de tipo plataforma somera). Por lo tanto, el miembro A, presenta buenas características de una roca generadora y los miembros B y C presentan buenas características de una roca reservorio.

Palabras claves: litoestratigrafía, secuencia, roca generadora

Abstract

The study area is located southeast of the city of Cusco, it belongs to the Callimuro sector, Limbani community, Layo district, Canas province and Cusco region. Geographically it is registered in projection WGS 84, ZONE 19S and fringe 30-t with the UTM coordinates East: 271357 and North: 8384210, with an average altitude of 4558 masl. According to the National Water Authority (ANA), the study area is located within the Urubamba basin, Vilcanota sub-basin and the Vilcanota river.

Morphostructurally it is located in the complex inter-mountainous highlands structured by thrust tectonics (Rochat et al., 1998; Rochat, 2002), where local geomorphological units were identified in the Callimuro zone, high and low mountains, high and low hills, foothills, terraces and alluvial and fluvial plains. The study area is located in upper Cusco-Puno controlled by two regional fault systems Cusco-Lagunillas-Mañazo and Urcos-Sicuani-Ayaviri. Carlotto et al. (2009), the local fault is the Langui layo fault with an Andean direction.

The local lithostratigraphic units identified in the area are: Quaternary deposits (alluvial and colluvial), Puno Group, Muñani formation and the Arcurquina formation composed of highly fractured and folded gray to dark gray micritic limestones.

For the lithostratigraphic study of the Arcurquina formation, a stratigraphic column was raised at a scale of 1/250, thus complementing the analysis (macroscopic and microscopic), using the Dunham and folk (1962) classification. Where 3 members could be identified, differentiating them by the fossil content. Member A, with a depth of 150 m, with 3 sequences: A1 (Wackestone-type limestone with bioclasts of foraminifera and bivalves in 15 cm, which indicate a shallow platform sedimentary environment), A2 (Wackestone-type limestone with bioclasts of corals and algae in 20cm, which indicate a shallow platform sedimentary environment) and A3 a Wackestone-type limestone without any fossil remains, Member B with a depth of 200 m with a single B1 sequence (Mudstone-type limestone with peloids of 20 at 30 cm, indicate a shallow platform environment) and member C with a depth of 120 m with a single C1 sequence (Mudstone-type limestones without any fossil remains, indicate a deep platform-type environment). Therefore, the A1 and A2 sequences have certain characteristics of a source rock, due to the organic matter content they present and the subsidence that the basin was subjected to during the Cretaceous.

Keywords: lithostratigraphy, sequence, source rock

INDICE

Resumen	1
Abstract	2
Glosario de términos	8
Lista de tablas.....	9
Lista de figuras	9
Lista de fotos	11
Lista de microfotografías	13
Introducción	14
CAPITULO I	16
ASPECTOS GENERALES	16
1.1. Ubicación	16
1.1.1. Ubicación política	16
1.1.2. Ubicación geográfica.....	18
1.1.3. Ubicación hidrográfica	18
1.2. Accesibilidad.....	20
1.3. Planteamiento del problema	20
1.3.1. Descripción del problema.....	20
1.3.2. Problema general.....	21
1.3.3. Problemas específicos	21
1.4. Justificación e importancia.....	21
1.5. Objetivos	22
1.5.1. Objetivo general	22
1.5.2. Objetivos específicos.....	22
1.6. Hipótesis.....	22
1.6.1. Hipótesis general	22
1.6.2. Hipótesis específicas	23
1.7. Limitaciones	23
1.8. Equipos, materiales y herramientas.....	23

1.9. Marco referencial	25
1.9.1. Antecedentes	25
1.9.2. Marco conceptual	32
1.9.3. Marco teórico	34
1.9. Variables e Indicadores	76
1.10. Metodología de la investigación	77
1.10.1. Diseño de la investigación.....	78
1.10.2. Procedimiento.....	78
1.11. Clima	80
1.11.1. Precipitación.....	81
1.11.2. Temperatura	81
1.12. Flora y Fauna.....	81
CAPITULO II.....	84
GEOMORFOLOGIA	84
2.1. Generalidades.....	84
2.2. Geomorfología regional	84
2.2.1. Altiplano occidental.....	84
2.2.2. Altiplano oriental.....	85
2.3. Geomorfología local	88
2.3.1. Montañas	88
2.3.2. Colinas altas y bajas	89
2.3.3. Pie de monte	90
2.3.4. Terrazas	90
2.3.5. Llanuras aluviales y fluviales	91
CAPITULO III	93
GEOLOGIA.....	93
3.1. Generalidades	93
3.2. Geología regional.....	93

3.2.1. Formación Huallhuani (Ki-hu): Cretácico inferior	93
3.2.2. Formación Arcurquina (Kis-a): Cretácico medio	94
3.2.3. Formación Auzangate (KsP-a): Cretácico-Paleógeno	99
3.2.4. Formación Muñani (P-mu): Paleógeno - Oligoceno	100
3.2.5. Grupo Puno (P-pu): Paleógeno-Oligoceno	100
3.2.6. Grupo Tacaza (PN-t): Paleógeno-Neógeno	101
3.2.7. Depósitos cuaternarios	102
3.2.8. Rocas intrusivas	103
3.3. Geología local	108
3.3.1. Formación Arcurquina (Kis-a)	108
3.3.2. Grupo Puno (P-pu)	109
3.3.3. Depósitos cuaternarios	110
CAPITULO IV	114
TECTONICA	114
4.1. Generalidades	114
4.2. El Altiplano Peruano	115
4.3. Fajas plegadas y corridas	116
4.4. Dominios y estilos estructurales en el Altiplano	120
4.4.1. Dominio Altiplano Oriental	121
4.4.2. Dominio Altiplano Occidental	122
4.5. Alto Estructural Cusco - Puno o Altiplano	123
4.6. Estructuras geológicas locales	125
4.6.1. Falla Langui Layo	125
4.6.2. Falla Callimuro	127
CAPITULO V	128
DESARROLLO DE LA LITOESTRATIGRAFIA	128
5.1. Generalidades	128
5.2. Descripción de la Formación Arcurquina	128

5.3. Descripción petrográfica macroscópica	131
5.3.1. Muestra CA-01	133
5.3.2. Muestra CA-02	134
5.3.3. Muestra CA-03	135
5.3.4. Muestra CA -04	136
5.3.5. Muestra CA-05	137
5.4. Clasificación de las muestras (Dunham y Folk, 1962)	139
5.5. Descripción petrográfica microscópica	143
5.5.1. Sección delgada con código CA1-01	143
5.5.2. Sección delgada con código CA2-02	145
5.5.3. Sección delgada con código CA3-05	147
5.6. Levantamiento de una columna estratigráfica	148
5.6.1. Metodología	148
5.6.2. Columna estratigráfica	151
5.6.3. Análisis de la columna estratigráfica	155
5.6.4. Litofacies	156
5.6.5. Correlación estratigráfica y bioestratigráfica	157
CAPITULO VI	160
BIOESTRATIGRAFIA	160
6.1. Generalidades	160
6.2. Muestras fósiles recolectadas	160
6.3. Resultados de los estudios paleontológicos	160
6.3.1. Muestra con código CA1-01	161
6.3.2. Muestra con código CA2-02	163
CAPITULO VII	164
DISCUSIÓN Y RESULTADOS	164
7.1. Discusión	164
7.2. Resultados	166

CONCLUSIONES	167
RECOMENDACIONES	168
BIBLIOGRAFIA	169

Glosario de términos

Cz: caliza

CA: Calizas Arcurquina

Cm: Caliza Mudstone

Cw: caliza Wackstone

Cp: caliza Packstone

Cma: caliza margosa

D: dolomita

HCL: ácido clorhídrico

TOC: contenido de materia orgánica

Fm: formación

Cpy: calcopirita

Py: piritita

Ox: óxidos

S: Sur

NW: Noroeste

SW: Suroeste

Rb: Rumbo

Bz: Buzamiento

Cm: centímetro

m: metro

msnm: metros sobre el nivel del mar

kg: kilogramo

g: gramo

Lista de tablas

Tabla 1. 1. Ubicación política	16
Tabla 1. 2. Ubicación Geografica.....	18
Tabla 1. 3. Ubicación Hidrografica	18
Tabla 1. 4. Accesibilidad a la zona de Callimuro.....	20
Tabla 1. 5. Calificativos para describir la estratificación y laminación.	46
Tabla 1. 6. Representación de jerarquías da las unidades litoestratigráfica. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 1. 7. Indicadores definidos para el estudio	76
Tabla 3. 1. Unidades litoestratigráficas en la zona de estudio (fuente INGEMMET- editado propio).	112
Tabla 5. 1. Muestra con código CA-01, según la clasificación Dunham y Folk (1962).	140
Tabla 5. 2. Muestra con código CA-02, según la clasificación Dunham y Folk (1962).	141
Tabla 5. 3. Muestra con código CA-05, según la clasificación Dunham y Folk (1962).	142

Lista de figuras

Figura 1. 1. Principio de la horizontalidad y continuidad lateral de los estratos	36
Figura 1. 2. Principio de la superposición de los estratos	37
Figura 1. 3. Aplicación del principio de la sucesión faunística, basada en el registro fósil de los estratos.	39
Figura 1. 4. Tipos de superficies de estratificación que se pueden observar en el campo	42
Figura 1. 5. Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor.....	43
Figura 1. 6. Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes (explicación en el texto). Los términos a, b y c corresponden a tres tipos litológicos, en los que a sería el término de mayor tamaño de grano (en rocas detríticas) o de mayor energía (en rocas carbonatadas).	45
Figura 1. 7. Relación entre medio, proceso, facies y tiempo en una cuenca sedimentaria teórica	46
Figura 1. 8. Ilustración de las diferencias de posición de los niveles o líneas de cambio de las diversas propiedades o atributos en una sección estratigráfica.	48
Figura 1. 9. Gráfico en el que se muestran los rangos de unidades litoestratigráficas. Se representan tres formaciones (X, Y, Z) y en una de ellas (Formación Y) se diferencian tres miembros (A, B, C). Se muestran dos ejemplos de capa: la capa 1 es una unidad litoestratigráfica de rango menor diferenciada directamente dentro de una formación, mientras que la capa 2 es una unidad, del menor rango, dentro de un Miembro.....	50
Figura 1. 10. Izquierda: Esquema mostrando estratificación mixta, integrada por laminación flaser, ondulítica y lenticular. Derecha: A. Esquema mostrando laminación o estratificación entrecruzada tabular planar en dirección longitudinal al flujo B. Laminación/estratificación entrecruzada tangencial en dirección longitudinal al flujo. C. Laminación/estratificación entrecruzada en artesa en dirección transversal al flujo.	54
Figura 1. 11. Esquemas que muestran los diferentes tipos de estructuras de calcos de carga y en almohadilla. A. Calco de carga producido cuando la viscosidad entre los estratos es similar. B. Calco de carga producido cuando la viscosidad entre capas es diferente (flame). C. Estructuras en almohadilla generadas cuando existe ruptura de estratos.....	55
Figura 1. 12. Formas de las unidades litoestratigráficas, deducidas a partir de datos de campo. Explicación en el texto.	58

Figura 1. 13. Relaciones laterales entre unidades litoestratigráficas. A.- Límite de una unidad por una falla sinsedimentaria. B.- Acuñaamiento. C- Indentación. D.- Cambio lateral de facies.	60
Figura 1. 14. Relaciones verticales entre unidades litoestratigráficas.	61
Figura 1. 15. En la imagen de la izquierda se aprecia esparita como material intergranular, en la figura de la derecha micrita.	65
Figura 1. 16. En la imagen se observa la micrita como matriz, la esparita como cemento rellenando los poros, cavidades y fracturas y por último se observa a los aloquemios como granos carbonatados.	66
Figura 1. 17. En las imágenes se observan los aloquemios A. Bioclastos (foraminíferos), B. Granos agregados, Peloides, D. Intraclastos, E. Extraclasto, F. Oolitos.	68
Figura 1. 18. Clasificación textural de las rocas carbonatadas basada en el método de Folk (1959, 1962). Los nombres que se emplean para las rocas se han indicado en letras mayúsculas.	70
Figura 1. 19. Rango de texturas que se presentan en las rocas carbonatadas, ilustradas usando los términos de la clasificación de Folk.	70
Figura 1. 20. Clasificación de Dunham 1962.	72
Figura 1. 21. Clasificación de calizas modificado de Dunham.	72
Figura 1. 22. Tabla de la distribución de los fósiles característicos a lo largo del tiempo geológico, desde el Cámbrico hasta la actualidad. La parte en la que el sector comprendido entre las dos líneas está relleno de negro indica el intervalo de tiempo en el que suministran una información más precisa. En blanco (entre las dos líneas) se indican los intervalos en los que están presentes, pero suministrando una información menos valiosa.	75
Figura 2. 1. Dominio estructural de la zona de trabajo.	86
Figura 2. 2. Dominios estructurales.	86
Figura 3. 1. Muestra el batolito de Apurímac (P-d/gd) y los sedimentos de la Fm. Velille, Fm Huallhuani y las calizas de la Fm Arcurquina.	94
Figura 3. 2. Columna estratigráfica del relleno sedimentario de la cuenca de Arequipa en Yura.	95
Figura 3. 3. Columna estratigráfica del Grupo Lagunillas en la región de Mañazo-Lagunillas.	96
Figura 3. 4. Columna estratigráfica de los cuadrángulos Cusco y Livitaca.	99
Figura 3. 5. Deposito glaciofluvial al pie del cerro.	103
Figura 3. 6. Estratigrafía Regional del cuadrángulo de Yauri 30t actualizado. Tomado del INGEMMET actualizado.	106
Figura 4. 1. Imagen satelital mostrando la orientación preferencial de la Cordillera de los Andes. Fuente: Teves (2014).	114
Figura 4. 2. Faja plegada del altiplano y faja plegada de Huarina.	115
Figura 4. 3. Esquema de la morfología de las Fajas Plegadas y Corridas, tanto en márgenes activos (A) como en márgenes pasivos (B).	116
Figura 4. 4. Desarrollo de una sección estructural considerando la deformación existente asociada a una tectónica de piel delgada.	117
Figura 4. 5. Sección estructural el cual muestra la Faja plegada y corrida del Altiplano. ...	118
Figura 4. 6. Sección estructural de la zona de Callimuro, se observa como fajas plegadas y corridas a la Formación Arcurquina.	118
Figura 4. 7. formación Arcurquina depositada durante el Albiano- Turoniano en la cuenca de Arequipa, alto Condorama-Caylloma y alto Cusco-Puno con un sistema de fajas plegadas y corridas.	119
Figura 4. 8. Mapa de dominio geotectónico y sistema de fallas regionales del Altiplano Sur Peruano.	120

Figura 4. 9. Dominios estructurales regionales del Altiplano.	121
Figura 4. 10. Sección paleogeográfica para el mesozoico con los límites de las cuencas y los sistemas de fallas.	123
Figura 4. 11. Dominios morfoestructurales del sur del Perú mostrando los principales sistemas de fallas: C-L-M: Cusco-Lagunillas-Mañazo, U-S-A: Urcos-Sicuani-Ayaviri.	124
Figura 4. 12. Vista de la falla Langui- Layo, en la zona de estudio.	126
Figura 5. 1. Muestra CA-01. Rango de texturas que se presentan en las rocas carbonatadas, ilustradas usando los términos de la clasificación de Folk (Adams & Mackenzie, 1997). ...	140
Figura 5. 2. Clasificación de Dunham 1962, modificado de Moore 2001 (Arribas et al. 2010).	140
Figura 5. 3. Muestra CA-02. Rango de texturas que se presentan en las rocas carbonatadas, ilustradas usando los términos de la clasificación de Folk (Adams & Mackenzie, 1997). ...	141
Figura 5. 4. Muestra CA-02. Clasificación de Dunham 1962, modificado de Moore 2001 (Arribas et al. 2010).	141
Figura 5. 5. Muestra CA-05. Rango de texturas que se presentan en las rocas carbonatadas, ilustradas usando los términos de la clasificación de Folk (Adams & Mackenzie, 1997). ...	142
Figura 5. 6. Muestra CA-05. Clasificación de Dunham 1962, modificado de Moore 2001 (Arribas et al. 2010).	142
Figura 5. 7. Ubicación de la columna estratigráfica en el sector de Callimuro.	150
Figura 5. 8. Columna estratigráfica de la Formación Arcurquina elaborada en la zona de estudio.	154
Figura 5. 9. Correlación de la Formación Arcurquina con la cuenca de Arequipa y algunas columnas estratigráficas del Altiplano. Tomado de Jaillard y Santander (1992), Jaillard et al. (1995). Modificación propia.	158
Figura 5. 10. Correlación de la formación Arcurquina de Callimuro con la región de Ayacucho en el área de Santa Ana, donde se diferencia dos miembros cada una con tres secuencias y la formación Ferrobamba de Cotabambas con cuatro secuencias. Tomado de chacón et al. (2013) y Carlotto et al. (2006). Modificación propia.	159

Lista de fotos

Foto 1. 1. Formación Arcurquina en el sector de Callimuro	16
Foto 1. 2. Vegetación de la zona de estudio	82
Foto 1. 3. La flora en la zona de estudio. A: Q'era q'era, B: Salvia, C: Añapancu, D: Madre kisa, E: Pincu pincu, F: Achupalla, G: Achupalla, H: Llaulli quisca, I: Ichu, J: Sunchu, K: Roq'a tunas.	82
Foto 1. 4. Muestra la fauna de la zona de estudio A: Burro, B: Vacunos y ovinos, C: Auquénidos, D: zorro, E: Venado Andino.	83
Foto 2. 1. Montañas bajas cubiertas por depósitos cuaternarios y en algunas de las calizas Arcurquina.	88
Foto 2. 2. Montañas altas cubiertas por depósitos glaciales y en algunas de las calizas Arcurquina.	89
Foto 2. 3. Clasificación de las colinas altas y bajas en la zona de estudio cubiertas por depósitos cuaternarios.	89
Foto 2. 4. Clasificación de terrazas altas y bajas en la zona de estudio cubiertas por depósitos cuaternarios.	90
Foto 2. 5. Clasificación de terrazas altas y bajas en la zona de estudio cubiertas por depósitos cuaternarios.	90

Foto 2. 6. Clasificación de los depósitos aluviales y fluviales en la parte más baja depositados por la erosión del agua.	91
Foto 2. 7. Clasificación de las geoformas en la zona de estudio.	91
Foto 3. 1. Se observa calizas de la Formación Arcurquina bien estratificadas, plegadas y muy fracturadas.	108
Foto 3. 2. A: Calizas bituminosas con olor a fétido, B: Caliza gris oscuro con venillas entrecortadas de calcita.	109
Foto 3. 3. Conglomerados del Grupo Puno con clastos de areniscas feldespáticas y calizas.	110
Foto 3. 4. Conglomerados del Grupo Puno con clastos de areniscas feldespáticas y calizas.	110
Foto 3. 5. Depósitos coluviales con bloques angulosos de calizas en una matriz de limos, arena y arcilla.	111
Foto 3. 6. Depósitos aluviales cerca al río.	111
Foto 4. 1. Segmento norte de la falla Langui-Layo. Se puede observar la buena conservación del escarpe de falla, que se encuentra afectando depósitos cuaternarios. La dirección de este segmento es aproximadamente Este-Oeste. Foto tomada hacia el norte.....	125
Foto 4. 2. Vista de la falla Langui layo.....	126
Foto 4. 3. Falla Callimuro poniendo en contacto la Formación Arcurquina con el Grupo Puno.	127
Foto 5. 1. Calizas altamente fracturadas (buena porosidad) y caótica producto de la erosión.	129
Foto 5. 2. Calizas con textura masiva con venillas de calcita.....	129
Foto 5. 3. Calizas de la Formación Arcurquina con surcos paralelos producto de la disolución de las rocas carbonatadas por el interperismo químico.....	130
Foto 5. 4. Calizas de la Formación Arcurquina formando un sinclinal producto del tectonismo.	130
Foto 5. 5. Afloramientos de la Formación Arcurquina cubiertas por cobertura vegetal.	131
Foto 5. 6. Muestra con código CA-01: se observa una caliza bituminosa con venillas de calcita	133
Foto 5. 7. Muestra con código CA-02: caliza bituminosa con numerosas venillas irregulares de calcita blanca con más o menos cristales de hasta 2 mm.	134
Foto 5. 8. Muestra con código CA-03: caliza con fracturas rellenadas con calcita cristalizada y en	135
Foto 5. 9. Muestra con código CA-04: caliza con pequeñas fisuras rellenadas con hematita.	136
Foto 5. 10. Muestra con código CA-05, con venillas subparalelas de calcita con espesor 0.2-0.5 mm.....	137
Foto 5. 11. Lugar donde se desarrolló el levantamiento de la columna estratigráfica de la Formación Arcurquina, identificándose tres miembros, MA=Miembro A, MB=Miembro B y MC=Miembro C.....	150

Lista de microfotografías

Microfotografía 5. 1. Sección delgada CA1-01. Vista en nicols cruzados caliza micrítica, dominada en el hemisferio norte por bioclastos en una matriz micrítica recristalizada.	144
Microfotografía 5. 2. Sección delgada CA1-01 ampliado en 0.5 mm. Vista en nicols cruzados caliza micrítica. A= Bioclastos de foraminíferos, B=Oolito con laminaciones concéntricas alternantes de micrita y microesparita.....	144
Microfotografía 5. 3. Sección delgada CA1-01 ampliado en 0.5 mm. Vista en nicols cruzados caliza micrítica. A=algas con estructura de panel de abeja, B=bioclastos de Corales.	145
Microfotografía 5. 4. Sección delgada CA2-02. Vista en nicols cruzados. Nótese las venas de calcita (F3) cortando a la micrita con peloides.....	146
Microfotografía 5. 5. Sección delgada CA2-02. Vista en nicols cruzados. En la parte central se observa la micrita atravesada por los tres sistemas de fractura (F1, F2, F3). Donde la F2 presenta limonita y clastos de cuarzo, en tanto que la F3 es la última en penetrar, pero está rellena de calcita en la parte inferior.	146
Microfotografía 5. 6. Sección delgada CA3-05. Vista en nicols cruzados micrita cortada por las fracturas F1 y F3.....	147
Microfotografía 5. 7. Sección delgada CA3-05. vista en nicols cruzados. La intersección de fracturas provoca la denominada porosidad secundaria diseñando formas triangulares.....	148
Microfotografía 6. 1. Foraminíferos vista al microscopio.....	161
Microfotografía 6. 2. Algas vistas al microscopio.	162
Microfotografía 6. 3. Corales vistas al microscopio.....	162
Microfotografía 6. 4. Peloides vista al microscopio.....	163

Introducción

El conocimiento de la estratigrafía es importante, ya que las formas de estratificación, estructuras sedimentarias, contenido fosilífero y composición de las rocas sedimentarias son características geológicas que constituyen evidencias sobre la sedimentología y estratigrafía de dichas rocas, por lo que en la actualidad constituyen aspectos de valor útil en estudios de carácter litoestratigráfico.

La Cuenca Altiplánica, en el Perú conocida como la Cuenca Titicaca, se extiende también hacia los países de Bolivia, Chile y Argentina, ha sufrido eventos geodinámicos que ha condicionado su morfología actual, siendo los más importantes los involucrados a partir del Cretácico Superior - Paleógeno a la actualidad, con énfasis en el Eoceno, tiempo en el cual se genera la estructuración de las principales unidades Morfoestructurales de la zona (Teves, 2016).

La Formación Arcurquina en el sector de Callimuro, carece de investigaciones de carácter local sobre litoestratigrafía por lo que surge la necesidad de realizar la investigación para tener una mejor visión de la caracterización litoestratigráfica de la Fm. Arcurquina, la cual contribuirá para conocer las secuencias de roca carbonatadas en la zona de estudio; todos estos datos y resultados servirán para realizar columnas estratigráficas detalladas, identificar la litología con una descripción petrográfica macroscópica y microscópica a detalle, estructuras sedimentarias, contenido fosilífero para definir el ambiente sedimentario y la edad. Además, servirá como estudio base para futuros investigadores que deseen realizar una correlación local o regional.

Las rocas carbonatadas en el mundo producen cerca del 60% del consumo mundial de hidrocarburos, la mayor producción de estos reservorios proviene del Medio Oriente; nosotros

en el Perú producimos de areniscas que pertenecen al grupo de rocas clásticas que históricamente en el mundo fueron los objetivos que almacenaban los hidrocarburos.

El Perú, delimita los lugares donde se han depositado los mayores espesores y las áreas dentro del territorio peruano; los grupos Copacabana y Tarma pertenecientes al Paleozoico y el Grupo Pucará perteneciente al Mesozoico son los dos grandes depósitos de carbonatos de mayor distribución en el país (Vásquez, 2016).

Si los estudios y los proyectos de exploración en el Perú incluyeran como objetivo a los reservorios carbonatados, entonces se incrementaría las posibilidades de descubrimientos, aumentando a su vez las reservas y la producción de hidrocarburos en el Perú. Este cambio sería muy importante ya que podría modificar la condición del Perú de ser un país importador de hidrocarburos a un país exportador. (Vásquez. 2016).

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1.Ubicación

1.1.1. Ubicación política

La zona de estudio se encuentra ubicado al Sureste de la ciudad del Cusco en el sector Callimuro (Foto 1.1), comunidad de Limbani, distrito de Layo, provincia de Canas y departamento del Cusco (Tabla 1.1).

Tabla 1. 1

Ubicación política de la zona de estudio

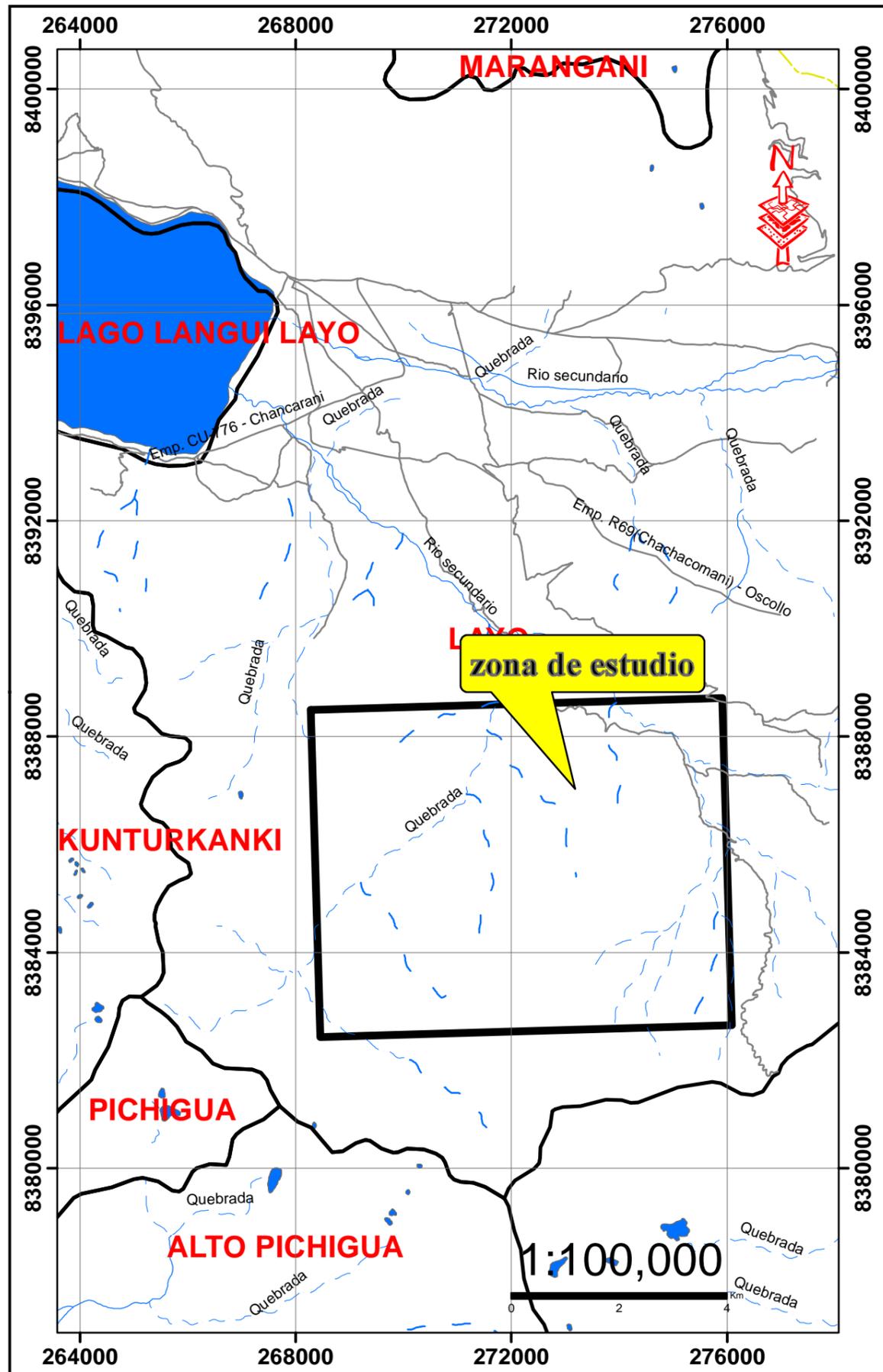
Sector	Callimuro
Comunidad	Limbani
Distrito	Layo
Provincia	Canas
Departamento	Cusco

Fuente: Elaboración propia

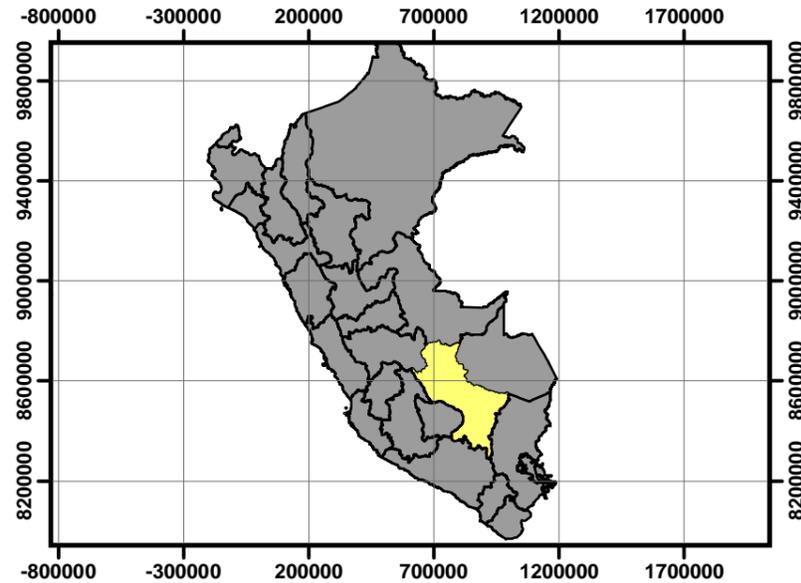


Foto 1. 1. Formación Arcurquina en el sector de Callimuro

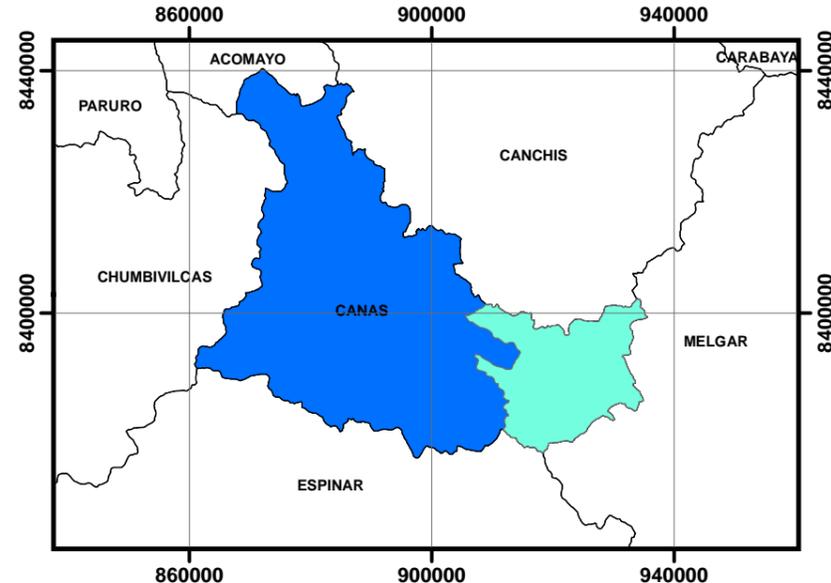
MAPA DE UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO



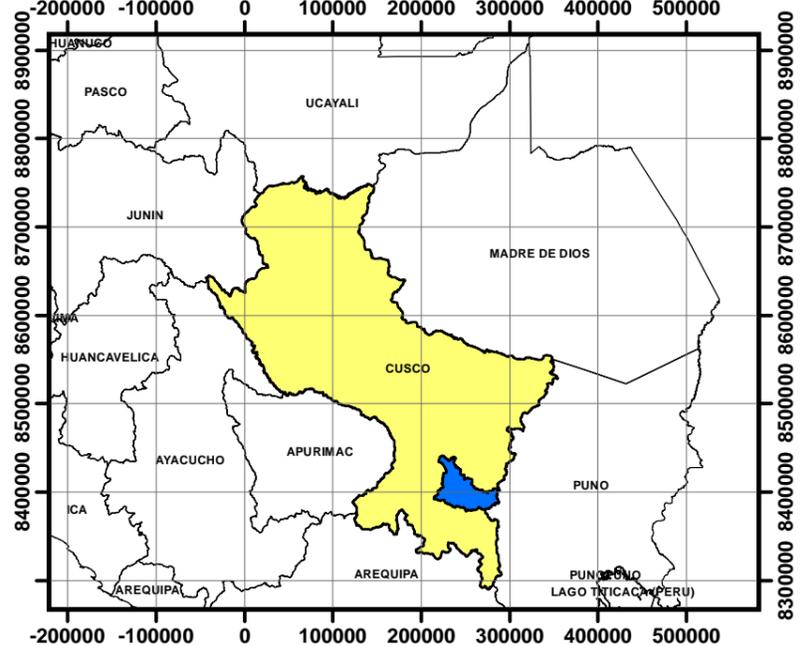
MAPA DE UBICACION DEPARTAMENTAL



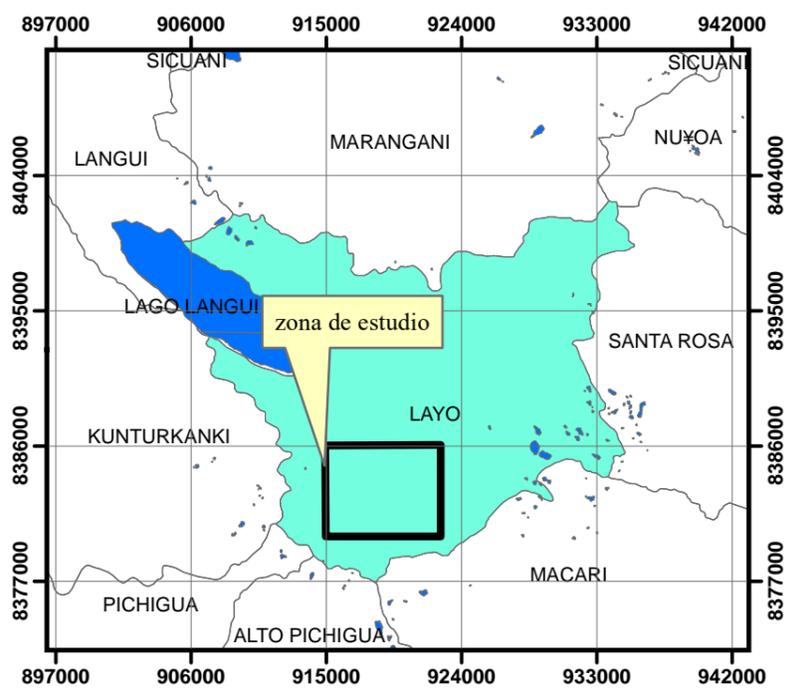
MAPA DE UBICACION DISTRITAL



MAPA DE UBICACION PROVINCIAL



MAPA DE UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO



SIMBOLOGIA

- Rio Principal
- Rio Secundario
- Quebrada
- Quebrada Seca
- Vias de 3 Orden
- Vias de 1 Orden
- Lagos
- Zona de Estudio

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
MAPA: UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO			
UBICACION REGION: Cusco PROVINCIA: Canas DISTRITO: Layo SECTOR: Callimuro		SISTEMA DE COORDENADAS PROYECCION: Universal Transversa Mercator(UTM) ELIPSOIDE O DATUM HORIZONTAL: World godesic system 1984(WGS84) HUSO Y ZONA: 19S, SUR	
ASESOR: Dr. Rómulo Escobedo Zapana		ELABORADO POR: Br. Rosmery Maquerhua Mantilla Br. Anali Balvina Ccoa Yucra	FUENTE: Propia
ESCALA DE IMPRESION: A4	ESCALA DE TRABAJO: 1:100 000	FECHA: MAY. 2023	CODIGO: MU-01
		MAPA N°: 01	

1.1.2. Ubicación geográfica

La zona de estudio se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas en proyección WGS84, Zona 19S y Franja 30-t (Tabla 1.2).

Tabla 1. 2

Ubicación geográfica de la zona de estudio

Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
Este	Norte	
271357	8384210	4558

Fuente: Elaboración propia

1.1.3. Ubicación hidrográfica

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la zona de estudio se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica de Urubamba, sub cuenca Vilcanota y el río Vilcanota (Tabla 1.3).

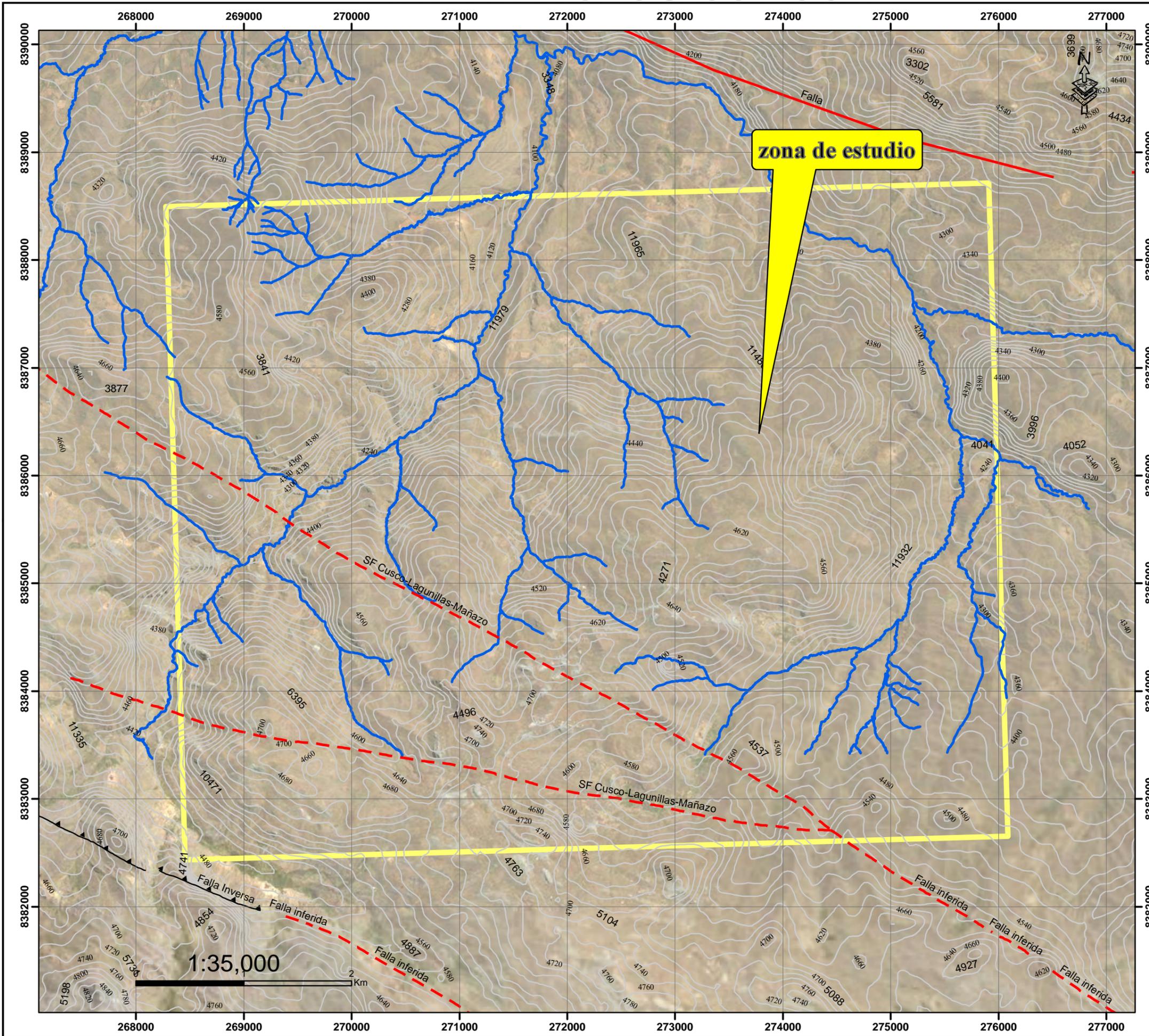
Tabla 1. 3

Niveles de clasificación hidrográfica

Cuenca	Urubamba
Sub cuenca	Vilcanota
Río	Vilcanota

Fuente: Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

MAPA HIDROLOGICO LOCAL



SIMBOLOGIA

-  drenages
-  Curvas_nivel 100m
-  Curvas_nivel 20m
-  Zona de Estudio

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DELCUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
MAPA:		HIDROLOGICO LOCAL	
UBICACIÓN REGION: Cusco PROVINCIA: Canas DISTRITO: Layo SECTOR: Callimuro		SISTEMA DE COORDENADAS PROYECCION: Universal Transversa Mercator(UTM) ELIPSOIDE O DATUM HORIZONTAL: World godesic system 1984(WGS84) HUSO Y ZONA: 19S.SUR	
ASESOR: Dr. Rómulo Escobedo Zapana		ELABORADO POR: Br. Rosmery Maquerhua Mantilla Br. Anali Balvina Ccoa Yucra	FUENTE: Propia
ESCALA DE IMPRESION: A4	ESCALA DE TRABAJO: 1:35000	FECHA: MAY.2023	CODIGO: MHL-01
		MAPA N°: 02	

1.2. Accesibilidad

Para llegar a la zona de estudio se tiene el siguiente acceso: Se toma la carretera interoceánica que es una vía Cusco-Juliaca; pero a la altura de Sicuani se toma una carretera asfaltada hasta Layo. Luego se toma una vía vecinal hasta la comunidad de Limbani. En Limbani no existe ninguna carretera carrozable, solo caminata para llegar a Callimuro (Tabla 1.4).

Tabla 1. 4

Accesibilidad a la zona de Callimuro.

Origen	Destino	Tipo de vía	Tiempo
Cusco	Sicuani	asfaltada	3hrs
Sicuani	Layo	asfaltada	45hrs
Layo	Limbani	vecinal	20min
Limbani	Callimuro	Camino de herradura	4hrs

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Descripción del problema

En el distrito de Layo, sector de Callimuro no existe un estudio litoestratigráfico de la Formación Arcurquina para determinar las secuencias de rocas generadoras, por lo cual se le ha puesto un interés en evaluar la roca fuente o generadora. Estos estudios significan desarrollar trabajos de campo, cartografiado, análisis e interpretación de imágenes satelitales, levantamiento de columna estratigráficas, análisis complemental del laboratorio (microscópico), etc.

Las rocas carbonatadas son muy ricas en materia orgánica; por lo tanto, podrían generar hidrocarburos, con estudios pre académicos se han evidenciado emanaciones de hidrocarburos y calizas olor a fétido en la zona.

Se da importancia a este trabajo de investigación debido a que existen emanaciones de petróleo en la parte Sur de la zona de estudio (Islaycocha- Espinar), también existen pozos petroleros al Este de la zona de estudio (Pirin- Puno).

1.3.2. Problema general

¿Cuál es la litoestratigrafía de la Formación Arcurquina en la zona de Callimuro para definir la secuencia estratigráfica con ciertas características de roca generadora?

1.3.3. Problemas específicos

1. ¿Cuál es la caracterización y los tipos de rocas carbonatadas de las diferentes secuencias de la Formación Arcurquina?
2. ¿Cuál es la bioestratigrafía de las diferentes secuencias de rocas carbonatadas de la Formación Arcurquina?

1.4. Justificación e importancia

Las rocas carbonatadas en el mundo producen cerca del 60% del consumo mundial de hidrocarburos, la mayor producción de estos reservorios proviene del Medio Oriente; nosotros en el Perú producimos de areniscas que pertenecen al grupo de rocas clásticas que históricamente en el mundo fueron los objetivos que almacenaban los hidrocarburos (Vásquez, 2016).

Las secuencias carbonatadas cretácicas de la Formación Arcurquina de la zona de estudio es correlacionable con la Formación Ayabacas de la cuenca del Titicaca (Puno-Bolivia), el cual presenta valores de TOC de 1.20 % en promedio del sistema petrolero de la cuenca Titicaca y de reflectancia de vitrinita entre 1.74 y 3.77 %, constituyéndola una potencial roca generadora del sistema petrolero cretácico de la cuenca Titicaca. El kerógeno asociado a esta unidad es de tipo I, II y III encontrándose en ventana de generación de petróleo según los análisis de (Yukos, 2003).

Las secuencias carbonatadas cretácicas de la Formación Ayabacas presenta dentro de su secuencia niveles brechosos calcáreos, así como slumps muy fracturados, los cuales favorecen la posibilidad de almacenamiento de hidrocarburo en esta unidad.

En el sector de Yanaoco, de la cuenca del Titicaca se realizó estudios para evaluar su prospectividad, brindándonos resultados alentadores como un TOC alrededor del 1.80%, así como valores de Ro comprendidos entre 1.19 y 2.01 %, evidenciando que dicha secuencia se encuentra en una avanzada madurez termal, así como ubicable en la ventana de generación de gas. (Perupetro S.A., 2008). Para el sector, dicha formación puede ser restringida a espesores aproximados entre 300 y 400 m.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la litoestratigrafía de la Formación Arcurquina en la zona de Callimuro para definir la secuencia estratigráfica con ciertas características de roca generadora.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Determinar la caracterización y los tipos de rocas carbonatadas de las diferentes secuencias de la Formación Arcurquina.
2. Determinar el contenido fosilífero de las diferentes secuencias de rocas carbonatadas de la Formación Arcurquina.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Determinando la litoestratigrafía de la Formación Arcurquina en la zona de Callimuro mediante la definición de la secuencia estratigráfica que presenta ciertas características de roca generadora podría abrir expectativas para futuros estudios de sistemas petroleros entre megasecuencia Albiana-Cenomaniana y Turoniana de la Formación Arcurquina de la cuenca

Arequipa y Titicaca, consideradas por Perupetro como futuros recursos de hidrocarburos del país.

1.6.2. Hipótesis específicas

1. Determinando la caracterización y los tipos de rocas carbonatadas de las diferentes secuencias de la Formación Arcurquina se podrá determinar la litoestratigrafía en la zona de estudio.
2. Determinando el contenido fosilífero de las diferentes secuencias de rocas carbonatadas de la Formación Arcurquina, a partir del análisis tanto macroscópico de la megafauna de los fósiles y microscópico de la microfauna, se podrá determinar la edad de las secuencias de rocas carbonatadas y su medio ambiente.

1.7. Limitaciones

La zona de estudio presenta inconvenientes en el ámbito de accesibilidad, pues sólo cuenta con una trocha carrozable en mal estado desde el distrito de Langui-Layo, hasta una parte del tramo, siguiendo una caminata durante 4 a 5 horas. En cuanto a la topografía, la zona presenta relieves muy empinados y encañonados.

El clima es uno de los factores muy limitantes, pues se encuentra a una altitud de 4558 msnm, alrededor de la zona no existen pobladores el cual es un limitante para un viaje de ida y retorno.

1.8. Equipos, materiales y herramientas

Materiales de campo

- ✓ Cartas nacionales
- ✓ Mapas (satelital, geológico, base)
- ✓ Libreta de campo
- ✓ Tableros
- ✓ Colores

- ✓ Lápiz
- ✓ Hojas milimetradas
- ✓ Protactor
- ✓ Rayador
- ✓ Ácido clorhídrico

Materiales de gabinete

- ✓ Material de recopilación bibliográfica (cuadrángulo de dicha zona, afiches, artículos, informes, pdf, etc.)
- ✓ Suscripciones a redes de información
- ✓ Papel A3, A4.

EQUIPOS

Instrumentos de campo

- ✓ GPS
- ✓ Picota
- ✓ Brújula
- ✓ Wincha de mano
- ✓ Escalimetro
- ✓ Lupa 20x
- ✓ Rayador
- ✓ Celular

Instrumentos de gabinete

- ✓ Computadora y/o laptop
- ✓ Impresora
- ✓ Hojas bond

1.9. Marco referencial

1.9.1. Antecedentes

La zona de estudio no presenta antecedentes de carácter local sobre la litoestratigrafía de la Formación Arcurquina, sólo se tiene de carácter regional, así como boletines publicados por el INGEMMET y algunas revistas de la Sociedad Geológica del Perú; por lo tanto, se recurrió a otros estudios similares a nivel nacional.

A nivel mundial las rocas carbonatadas han tenido mayor interés en el origen del petróleo, lo cual ha dado grandes orígenes a yacimientos petrolíferos; como en China, Arabia Saudita, Libia, Nigeria, etc.

Las unidades litoestratigráficas del Jurásico inferior de las cordilleras Ibérica y costeras catalanas, Madrid

Gómez, Comas y Goy (2003), la exploración geológica llevada a cabo en las cordilleras Ibérica y Costeras Catalanas ha permitido el reconocimiento de dos nuevas unidades litoestratigráficas en los depósitos del Sinemuriense-Pliensbachiense, que han sido utilizadas en el pasado de manera informal. Estas unidades se denominan Formación Calizas nodulosas de Río Palomar y Formación Calizas y margas de Almonacid de la Cuba. La reorganización del sistema de unidades litoestratigráficas del Toarciense Aalenense (p. p.) implica el cambio del Miembro Casinos, definido previamente como el miembro inferior de la Fm. Chelva, al rango de formación, y el cambio de la Fm. Chelva al rango de grupo.

El megayacimiento de Ghawar, el tesoro mejor guardado de Arabia

Roca (2014), las rocas del yacimiento son calizas del Jurásico Arab-D con una porosidad excepcional (hasta el 35% de la roca en algunos lugares), que tiene un grosor de unos 280 pies y se encuentra a 6.000-7.000 pies bajo la superficie. La roca madre es la Formación Jurásica Hanifa, un depósito de plataforma marina de lodo y cal con hasta un 5% de materia

orgánica, se estima que entre un 1% y un 7% se considera una buena roca madre de petróleo. El sello es un paquete evaporítico de rocas que incluye anhidrita impermeable.

Evaluación de rocas generadoras de petróleo de la Formación La Luna en secciones del estado Táchira, Venezuela

Quero et al. (2007), la sección que comprende una alternancia de mudstones y wackestones inter-estratificados, niveles de chert, fosforitas y bentonitas, fue depositada en un ambiente de plataforma externa. El tipo de microfósiles hallados (foraminíferos planctónicos biseriales, bentónicos infaunales), así como la ausencia de bioturbación de los sedimentitas, sugieren una baja oxigenación del fondo. Respecto a la edad de la sucesión sedimentaria, las asociaciones paleontológicas indican un rango entre el Coniaciano y el Santoniano. Esto, teniendo en cuenta la presencia de los géneros Paralenticeras y Eulophoceras, asociados al Coniaciano, y el género Texanites, el cual es indicador de inicios del Santoniano. El potencial bioestratigráfico de los restos de vertebrados (Enchodontoidei) está pendiente de ser evaluado.

Estudio litoestratigráfico y análisis de facies del Grupo Retama (Devónico superior-Carbonífero inferior) en el río Kaka Subandino Norte (departamento de la Paz), Bolivia

Quenta (2018), para el estudio se desarrolló una columna litoestratigráfica a detalle “sección Mal Paso de Retama”, a escala 1:100 de base a techo desde Oeste hacia Este, llegando a medir 770 metros, identificando las formaciones Tomachi, Toregua, Kaka y Copacabana. La calidad geológica del perfil es bueno, donde se describió e interpretó el tipo de litología y estructuras sedimentarias en la sección: En primer lugar se identificó al Grupo Retama y sus formaciones, caracterizando así para la Formación Toregua dos Miembros: areniscas, lutitas y limolitas (Miembro inferior) y areniscas cuarzosas y wackes de cuarzo (Miembro superior), asimismo, para la Formación Kaka se identificaron dos Miembros: diamictitas, areniscas y

limolita con niveles de lutita carbonosa (Miembro inferior) y areniscas, limolitas y niveles de lutita carbonosa (Miembro superior).

Geología del cuadrángulo de Velille, Ayaviri, Yauri y Azángaro de las hojas 30-s, 30-t, 30-u y 30-v

Jenks (1948), describe a la Formación Arcurquina como calizas gris azulinas de aspecto masivo con venillas entrecruzadas de calcita además están recristalizadas y marmolizadas con manchas verdes de óxido de cobre. Son consideradas de edad cretácica y formadas en un ambiente marino.

La Formación Arcurquina (Klinck et al. 1986), ha sido datada como de edad Aptiano y la Fm. Ferrobamba según Marocco (1975), es del Aptiano-Turoniano por lo que en el presente trabajo se considera que las calizas tanto al Sur de Tintaya, Velille, así como aquellos afloramientos al noreste de Yauri y noroeste de Ayaviri son de edad Aptiano superior-Albiano, correlacionable con las Formaciones Ferrobamba del área de Abancay; Inca, Chúlec, Pariatambo y Pariahuanca del Perú Central y las formaciones homónimas descritas en los cuadrángulos de Arequipa, Cailloma y Livitaca.

Geología del cuadrángulo de Arequipa de la hoja 33-s

Jenks (1948), asigna a la Formación Arcurquina un grosor calculado en 640 m; más tarde Benavides (1962), mide una sección a lo largo de la quebrada Queñuhuayo (afluente de la quebrada Chilcane) obteniendo un grosor de 668 m. y la considera como representante típica de la Formación.

La litología y la fauna fósil indican que la Formación Arcurquina se depositó en aguas marinas bien oxigenadas de ambiente nerítico, debido a un proceso transgresivo que se habría iniciado durante el lapso de la deposición de la Formación Murco.

La formación Arcurquina en el area de Santa Ana, Ayacucho, Sur del Perú

Chacón et al. (2013), estudia a la Formación Arcurquina al extremo norte de la cuenca de Arequipa, levantando una columna 1/500. La columna tiene un espesor total de 785 m identificando así dos miembros. Este análisis identifica dos miembros (A y B). Ambos muestran 3 secuencias con similar evolución sedimentaria. La sedimentación empieza en una plataforma somera y profundiza hasta una plataforma profunda a talud. Posteriormente los períodos de inestabilidad regional (Carlotto et al. 2009) provocan inestabilidad en la cuenca y producen re sedimentación y slumps dentro de este borde de la cuenca Arequipa.

Caracterización lito-bioestratigrafía de la Formación Pariatambo en el caserío de carahuanga del distrito de baños del inca.

Julca (2022), realiza un estudio lito-bioestratigrafico de la Formación Pariatambo, realizándose para ello un análisis descriptivo directo de manera local, en la que se distinguió tres unidades litoestratigráficas: Miembro Inferior, Miembro Medio y Miembro Superior. También se distinguió las siguientes litofacies: calizas bituminosas del tipo mudstone y wackestone, arcillita bituminosas, margas, calizas margosas y sílicea correspondiente al horizonte de chert y biofacies: Ammonites Oxitropidoceras sp., Ammonites y bivalvos principalmente Seyphax Coquand y Nucula, con lo que se logró realizar una comparación con la columna estratigráfica realizada en los Centros Poblados de Urubamba y Ronquillo por (Bazán, 2015) y en el Centro Poblado de Puyllucana por Escobedo (2017), donde se determinó una correspondencia en la litología, espesor, estratigrafía y bioestratigrafía de las unidades litoestratigráficas.

Estratigrafía del mesozoico y paleógeno al norte del lago Titicaca

Sempere, Acosta y Carlotto (2004), describen las formaciones del mesozoico al norte del lago Titicaca demuestra que, en dos casos, se asignó nombres distintos a parte o totalidad

de la misma unidad litológica objetiva (Formaciones Huancané y Cotacucho, y Formaciones Moho y Vilquechico, respectivamente). El mapeo de la zona donde Newell definió sus unidades muestra que la sucesión estratigráfica de este autor se encuentra duplicada debido a un cabalgamiento importante al medio del perfil que estudio.

La Fm. Ayabacas (Turoniano) consiste de olistostromos localmente muy espesos que retrabajan depósitos anteriores y señala un contexto marcadamente extensional; el Grupo Vilquechico (Campaniano superior-Paleoceno inferior) sella los olistolitos de la Fm. Ayabacas y comprende subunidades que se correlacionan con unidades bolivianas datadas; el Grupo Puno (paleoceno superior-Oligoceno) conforma una potente sucesión estrato- y granocreciente de color rojo que fue depositada en una extensa cuenca de tipo antepaís, su parte inferior siendo dominada por pelitas rojas (Fm. Muñani, Paleoceno superior-Eoceno inferior). Se subraya que la estratigrafía evidenciada comparte varios puntos comunes con la estratigrafía mesozoica-paleógena de la vecina Bolivia.

La sedimentación Albiana-Turoniana en el sur del Perú (Arequipa-Puno-Putina)

Jaillard (1995), la sección de la Formación Arcurquina fue levantada a lo largo de la carretera de Yura a Huanca poco al Norte de la anterior, al pie del Cerro Arcurquina, es decir en el estratotipo de la Formación, el estudio de campo fue completado por el análisis de más de 180 láminas delgadas. En la parte mediana, la abundancia de las silicificaciones dificultó el estudio de las microfacies.

La parte superior de la columna 310-570 m, fue analizada por Jaillard y Amaud-Vanneau (1993). La Formación Arcurquina tiene más de 570 m de potencia y presenta cuatro grandes secuencias litológicas.

Estudio Sedimentológico y Estratigráfico de la microcuenca Cochamarca-San Marcos Cajamarca Perú.

Durán (2018), es un estudio sedimentológico y estratigráfico para optar el título profesional de Ing. Geólogo.

Las características Sedimentológicas y Estratigráficas de las diversas formaciones Cretácicas, están relacionadas con los ambientes de sedimentación, tipos de estratos y restos paleontológicos, así como los elementos de los depósitos cuaternarios están en proporción al tipo de energía de transporte y depositación sufrida, pertenece a la cuenca del río Crisnejas comprende parte de las provincias de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, En la zona en estudio encontramos al Grupo Goyllarisquizga, del cual realizaremos el estudio de las Formaciones Carhuaz, Farrat e Inca.

Las columnas estratigráficas elaboradas de las formaciones geológicas de la zona de estudio elaboradas, se hizo la comparación teniendo en cuenta sus características geocronológico, paleontológicas (fósiles) y litológicas de areniscas, lutitas y calizas, con las Columnas estratigráficas del Sur, Centro y Norte del Perú y la microcuenca de Cochamarca-San Marcos Cajamarca Perú, esto con la finalidad de conocer la importancia en la diferenciación de formaciones litológicas homogéneas.

La estratigrafía de las Formaciones Carhuaz, Farrat e Inca, de la microcuenca Cochamarca-San Marcos están sujetas a los principios estratigráficos de Uniformismo o actualismo, sucesión de eventos, superposición de estratos, horizontalidad original, continuidad lateral y principio de sucesión faunística, pues todo evento sucedido en el pasado ocurre en el presente, pero en escalas diferentes.

Caracterización sísmica de fracturas en reservorios carbonatados-Cuenca Ucayali Sur, área de Camisea-Perú”

Chirinos et al. (2016), es una tesis basada en la caracterización sísmica de fracturas en reservorios carbonatadas, en los cuales se hacen estudios de estratigrafía todo sobre las rocas

carbonatadas. En la estructura de Mipaya, Pagoreni, San Martín y Cashiriari, Pluspetrol ha perforado pozos descubriendo gas y condensado en rocas carbonatadas de la Formación Copacabana.

Análisis estructural y sistema petrolero de la cuenca Titicaca

Teves et al. (2016), desarrolla una tesis del sistema petrolero de la cuenca del Titicaca, así reconociendo las rocas generadoras en el borde oriental. Bajo su interpretación, se encuentran en el Paleozoico y Mesozoico, quedando mejor definidas en el Grupo Cabanillas, Grupo Ene en discusión (Formación Ene-Shale / Shinai) y la Formación Ayabacas respectivamente. Para el caso del Grupo Cabanillas, los análisis realizados por Infologic (2006), nos muestran que presentan un valor máximo de TOC superior al 3 %, en base a los registros previos, mientras que, a partir de los estudios realizados en el presente trabajo en unidades equivalentes de dicho grupo en la frontera Peruana - Boliviana, los valores de Ro, se encuentran entre los 0.95 - 1.20 %. En base al ambiente de sedimentación y apoyados también en los estudios de Infologic (2006), el kerógeno relacionado con el Grupo Cabanillas es de tipo III y se estima un espesor superior a los 3000 m (Yukos 2003). Con referencia al Grupo Tarma-Copacabana, los informes previos señalan que presenta un valor máximo de TOC superior al 1.8 %, registrado en distintos afloramientos (Infologic, 2006), sin embargo los análisis a dicha secuencia en este trabajo arrojan valores de TOC inferiores al 0.30%, sumado a esto, la poca profundización de los estudios a la unidad y al no haber sido reconocida en afloramiento, descartamos inicialmente considerarla como roca generadora a expensas de trabajos posteriores que ameriten su designación. El Grupo Ene, en cuya distribución, contempla los niveles de lutitas y calizas negras de las formaciones Ene-Shale y Shinai, es considerado bajo nuestra interpretación como una importante roca madre para este sector de la cuenca, sumado a esto, ser ya conocida como una secuencia prolífica en generación de hidrocarburos a lo largo de las cuencas subandinas. El escollo principal para poder realizar mayores análisis, es que el Grupo

Ene no se encuentra aflorando en el área de estudio, sin embargo, si es interpretado en profundidad (Análisis del Pozo RH-1) con un espesor de 280 m, así como correlacionable con la Formación Chutani la cual aflora en la frontera Peruana - Boliviana; un dato interesante que se extrae a partir del informe de Infologic (2006), es que el crudo de Pirin es el resultado de la generación de hidrocarburos de una roca madre paleozoica o precretácica, restringiéndolo para niveles jurásicas a partir de la abundancia de triaromatic dinosteranes, sin embargo dicho biomarcador es posible encontrarlo en niveles pérmicos superiores (Knoll et al. 2007; CoreLab, 1999; Geomark Research, 1996) asociado a un ambiente restringido con poca influencia marina tal y como señala el informe de Infologic, sustentando así la posibilidad de evaluar la presencia de hidrocarburos en la cuenca.

1.9.2. Marco conceptual

- ❖ **Litoestratigrafía:** Parte de la estratigrafía que trata de la organización de los estratos en unidades basadas en sus caracteres litológicos y posición estratigráfica (Sanchez y Leon, 1997).
- ❖ **Estratigrafía :** Estudia la disposición original, sucesión e interpretación de los estratos o unidades de rocas sedimentarias y sus relaciones mutuas (Rivera, 2017).
- ❖ **Estratificación:** Disposición de las rocas sedimentarias en estratos, es originada por cambios en la composición química del agua, pausas en la sedimentación o cambios en los aportes (Vera, 1994).
- ❖ **Secuencia :** Conjunto de niveles sedimentarios de naturalezas diferentes que suceden en un orden determinado, habitualmente limitado al tope y a la base por discontinuidades estratigráficas.
- ❖ **Correlación estratigráfica:** Comparación de dos unidades estratigráficas puede ser de nivel local, regional y global (Montaño et al. 2016).

- ❖ **Columna estratigráfica:** Sección geológica levantada en un área para ver la evolución y etapas de la depositación de materiales. (Sierra y Molina, 2014).
- ❖ **Fósiles guía:** Fósiles que indican el techo y el muro de una unidad litoestratigráfica (Vera, 1994).
- ❖ **Fósil:** Resto o vestigio de seres vivos que dejaron sus huellas en las rocas de la corteza terrestre. Los fósiles constituyen la base fundamental para la determinación de la edad de las rocas donde se encuentran (Dávila, 2011).
- ❖ **Roca Generadora :** Aquella que está generando o ha generado y expulsado petróleo.
La roca fuente necesita haber estado sometida a un calentamiento durante un lapso de tiempo geológico para alcanzar madurez termal para generar hidrocarburos (Teves, 2014).
- ❖ **Calizas :** Roca sedimentaria compuesta, en forma predominante, por minerales de carbonato, principalmente carbonatos de calcio y de magnesio. Los minerales más importantes de las calizas son la calcita y la aragonito, y, en las calizas dolomíticas, la dolomita. <https://www.ecured.cu/Caliza>

1.9.3. Marco teórico

Estratigrafía

Definición:

Corrales et al. (1977), la definieron como el estudio e interpretación de los procesos registrados en las sucesiones sedimentarias que van a permitir, además de conocer la naturaleza y disposición de las rocas estratificadas, la correlación, tanto de los materiales como de los sucesos, y una ordenación temporal correcta de la secuencia de materiales y sucesos.

Hedberg (1980), precisa que: La estratigrafía no solo trata de la sucesión y relaciones cronológicas originales de los estratos, sino también de su forma, distribución, composición litológica, contenido fósil, propiedades geoquímicas y geofísicas, es decir de todas las características, propiedades y atributos de las rocas como estratos, de la interpretación de su ambiente de formación o modo de origen y de su historia geológica (Vera, 1994).

Tres años después Hedberg, citado por Vera (1994) define: La estratigrafía no solo trata de la sucesión y relaciones cronológicas originales de los estratos, sino también de su forma, distribución, composición litológica, contenido fósil, propiedades geoquímicas y geofísicas, es decir de todas las características, propiedades y atributos de las rocas "como estratos", de la interpretación de su ambiente de formación o modo de origen y de su historia geológica.

En la actualidad la estratigrafía se define como: “El estudio e interpretación de los procesos registrados de las sucesiones sedimentarias que van a permitir además de conocer la naturaleza y disposición de las rocas estratificadas, la correlación tanto de los materiales como de los sucesos y una ordenación temporal correcta de la secuencia de materiales y sucesos”.

Una precisión mucho más reciente es que hace Emmanuel Robert (1999), nos indica que: “la estratigrafía es una ciencia ligada al tiempo, existen solo dos tipos de marcadores del tiempo que están unívocos: La transformación de un elemento radioactivo (radio cronología) y

la evolución biológica (los fósiles) o biocronología que depende de los factores biológicos y ambientales ligados a los eventos geológicos”.

En resumen, podemos decir que: “La estratigrafía es la rama de la Geología que trata del estudio de las rocas sedimentarias estratificadas y de la identificación, descripción, tanto vertical como horizontal; cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas” (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

La estratigrafía está estrechamente relacionada con casi todas las ramas restantes de la geología y es parte fundamental de la geología histórica.

Objetivos de la Estratigrafía

El objetivo general de la estratigrafía como ciencia es estudiar la sucesión en el tiempo y en el espacio de los terrenos y eventos geológicos, para lo cual tiene que seguir los siguientes objetivos específicos en forma sucesiva, es decir que antes de alcanzar el último se debe pasar necesariamente por los primeros, estos son:

- Identificación de estratos y establecimiento de la serie estratigráfica local (objetivo inicial).
- Correlación entre las diferentes series estratigráficas (objetivo principal).
- Interpretación estratigráfica (objetivo final).

Aplicaciones

- En la industria petrolera en la exploración y explotación de hidrocarburos y gas natural.
- En la industria minera en la exploración y explotación de yacimientos estratoligados principalmente.
- En geotecnia en la mecánica de suelos y perfiles del subsuelo para la construcción de obras civiles.

Principios fundamentales de la estratigrafía

Principio de la horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos

Emitido por Steno, plantea que los estratos al momento de su depósito son horizontales y paralelos a la superficie de depósito. Sin embargo, estudios recientes demuestran que la superficie de depositación tiene ligera inclinación. La aplicación de este principio considera como isócronas a las superficies de estratificación (Vera ,1994).

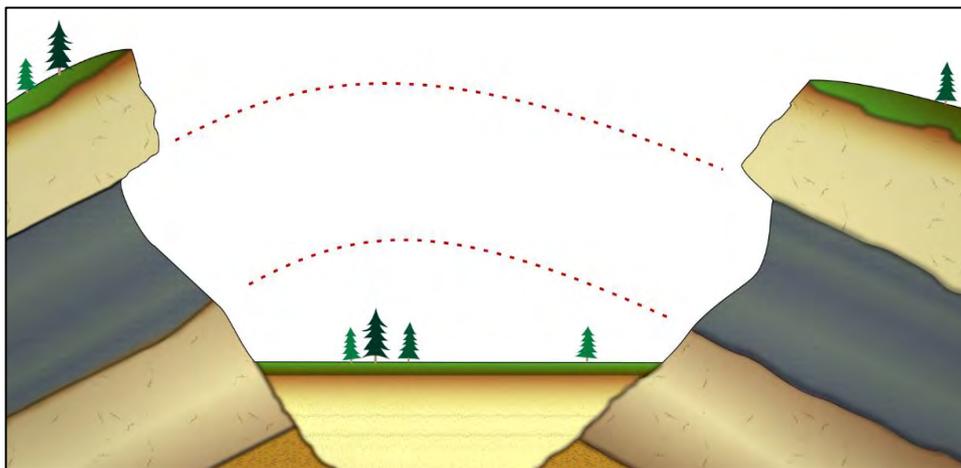


Figura 1. 1. Principio de la horizontalidad y continuidad lateral de los estratos

Fuente:website.https://www.wikiwand.com/es/Estratigraf%C3%ADa#Media/Archivo:Principio_of_horizontal_continuity.svg

Principio de la superposición

Planteado por primera vez por Steno y desarrollado por Lehmann establece que en una sucesión de estratos los más bajos son los más antiguos y los más altos los más modernos. El principio es básico para la ordenación temporal de los estratos (o conjuntos de estratos) subhorizontales y se puede aplicar a los materiales estratificados en los que la deformación tectónica posterior a su depósito no implique la inversión de estratos. Existen algunas excepciones donde no se cumple el principio, siempre ligadas a discontinuidades que impliquen

etapas de erosión de materiales previos, de manera que los sedimentos nuevos se depositen en cavidades excavadas en el seno de los otros (por ejem: cuevas). En la actualidad, este principio se usa con gran frecuencia, aunque apoyándose además en el uso de criterios de polaridad vertical, y constituye la base del levantamiento de secciones estratigráficas, técnica por otra parte fundamental en todo estudio estratigráfico (Vera, 1994).



Figura 1. 2. Principio de la superposición de los estratos

Fuente: Tarbuck y Lutgens (2005). Adaptado por los autores.

Principio del uniformismo o actualismo

Emitido por Hutton y desarrollado más ampliamente por Lyell (1832), dice que los procesos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la tierra han sido uniformes (uniformismo) y semejantes a los actuales (actualismo). El desarrollo de la teoría originaria lleva a su correcta aplicación como método de trabajo con algunas ligeras correcciones. Una primera es considerar que los procesos no son totalmente uniformes, sino que han cambiado en el ritmo e intensidad, y además en ellos hay un factor no repetible como es los organismos que han ido cambiando de manera lineal (no cíclica) de acuerdo con las pautas establecidas en la

teoría de la evolución. La frase originaria con la que se simplifica este principio el presente es la clave del pasado ha sido parafraseada por Matthews (1974), diciendo el Cuaternario es la clave del pasado (Vera, 1994).

Principio de la sucesión faunística o de la correlación

Emitido por Smith y desarrollado por Cuvier es la base de la datación relativa de los materiales estratificados. Consiste en admitir que cada intervalo de tiempo geológico, representado en rocas sedimentarias, fue habitado por organismos diferentes y no repetibles que pudieron fosilizar. Este principio es muy importante para la correlación de unidades de diferentes regiones ya que los seres vivos tienen un alcance mundial Vera (1994).



Figura 1. 3. Aplicación del principio de la sucesión faunística, basada en el registro fósil de los estratos.

Fuente: Tarbuck y Lutgens (2005). Adaptado por los autores.

Principio de la simultaneidad de eventos

Según Vera (1994), consiste en aceptar que en la naturaleza ocurrieron en tiempos pasados fenómenos normales como los que vemos en la actualidad, pero además otros raros y eventuales (eventos) que mayoritariamente coinciden con las grandes catástrofes. Estas catástrofes registradas en las rocas son grandes terremotos, variaciones del nivel del mar, erupción de volcanes, inversiones magnéticas.

Correlación

Una vez establecidas las secciones estratigráficas de diferentes áreas se establece la equivalencia de los diferentes estratos, por el contenido fósil o por propiedades físicas de determinados niveles se dibujan isócronas en las distintas secciones. A estos se le llama correlación temporal o simplemente correlación.

Estrato

Según Vera (1994), el término estrato fue introducido en geología por Steno, en el siglo XVII, para denominar a una capa de roca (o de sedimento) limitada por superficies horizontales con continuidad lateral y que equivale a una unidad de tiempo de depósito. Desde el punto de vista geométrico Campbell, citado por Vera (1993:21) define estrato como “un nivel de roca o sedimento más o menos distinguible de forma visual o física, separado de los niveles superior e inferior por superficies denominadas superficies de estratificación”. Y desde el punto de vista genético Otto, citado por vera (1994:21) lo define como “una unidad de sedimentación que se ha depositado esencialmente bajo condiciones físicas constantes”.

Estratificación y laminación

La estratificación es la disposición en estratos de los sedimentos, rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas. Al basarse la definición en la de estrato, el término estratificación se refiere tanto al aspecto geométrico (dispositivo en capas sucesivas) como al genético (intervalos sucesivos de sedimentación). Las superficies de estratificación en muchos afloramientos se observan con mayor claridad especialmente cuando existen diferencias litológicas marcadas entre capas sucesivas y cuando la erosión moderna ataca preferentemente a los materiales más blandos o más solubles.

La laminación se puede definir como la disposición sucesiva de láminas dentro de un estrato (Corrales et al. 1977). La laminación ha sido frecuentemente considerada como una estructura de ordenamiento interno dentro de los estratos, distinguiéndose dos tipos fundamentales: laminación paralela y laminación cruzada, aunque existen otros tipos minoritarios (ondulada, contorsionada) (Vera, 1994).

Tipos de superficie de estratificación

Las superficies de estratificación en muchos afloramientos se observan con mayor claridad especialmente cuando existen diferencias litológicas marcadas entre capas sucesivas y cuando la erosión moderna ataca preferentemente a los materiales más blandos o más solubles (Vera, 1994).

Según Vera (1994), las superficies de estratificación pueden ser netas o difusas. Las superficies netas en unos casos separan materiales con la misma litología encima y debajo, mientras que en otros casos separan estratos con diferente litología. En los contactos difusos existe una franja paralela a la superficie de estratificación en la que tiene lugar el cambio gradual entre los dos términos litológicos o texturales. En la naturaleza son muy frecuentes los estratos con muros netos y los techos difusos.

Desde un punto de vista geométrico se pueden diferenciar, con cierta facilidad, varios tipos de superficies de estratificación:

- Superficies con estructuras de corrientes.
- Superficies con pistas de organismos.
- Superficies con estructuras de carga.
- Superficies onduladas como en el caso de techos de estratos con estructuras de ripples.
- Superficies bio-turbadas afectadas por la acción de organismos que destruyen parcialmente la estructura interna del estrato.
- Superficies nodulosas con una disposición en grumos o nódulos, especialmente visible en el techo de ciertos bancos calizos.

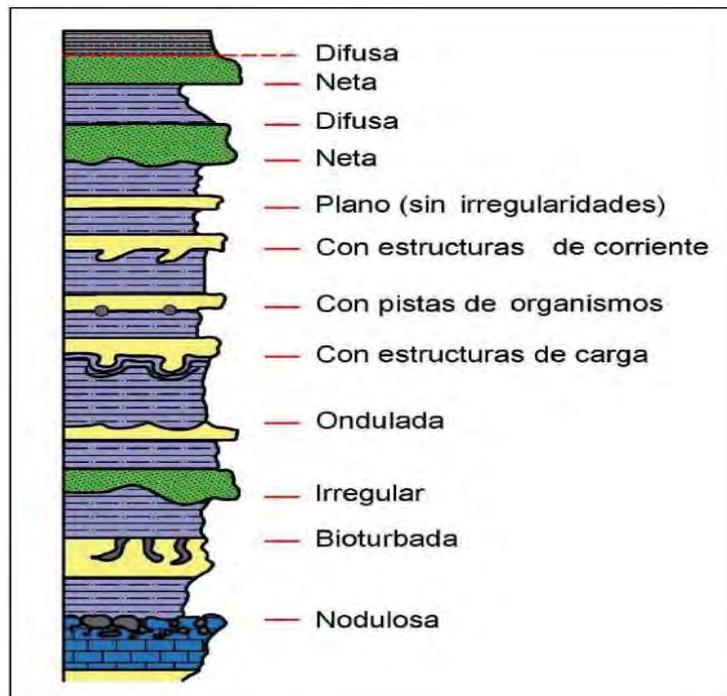


Figura 1. 4. Tipos de superficies de estratificación que se pueden observar en el campo

Fuente: Vera (1994)

Tipos de estratificación

Según Vera (1994), señala que, aunque existen diversos criterios para sistematizar los distintos tipos de estratificación, los más útiles se basan, esencialmente, en dos aspectos fundamentales: la geometría de los estratos individuales y las características de las asociaciones de estratos o conjuntos de estratos.

Geometría de los estratos

Según Vera (1994), considerando los estratos individualmente se puede establecer una clasificación de tipos geométricos a partir de la geometría del techo y del muro:

- **Estratos tabulares:** Cuando las dos superficies de estratificación (techo y muro) son planas y paralelas entre sí.

- **Estratos irregulares, con muro erosivo:** Son estratos con gran extensión lateral, con un muro irregular y un techo plano, por lo que su espesor varía.
- **Estratos acanalados:** Con escasa extensión lateral y espesor muy variable, con una geometría interna semejante a la de la sección de un canal.
- **Estratos en forma de cuña:** Se trata de estratos limitados por superficies planas no paralelas entre sí, que terminan lateralmente por pérdida progresiva de espesor.
- **Estratos lenticulares:** Son discontinuos con el muro plano y el techo convexo. Una variante de estos son los estratos con forma biconvexa.
- **Estratos ondulados:** Se caracterizan por ser continuos con muro plano y techo ondulado, con estructuras de ripples de corrientes o de olas.

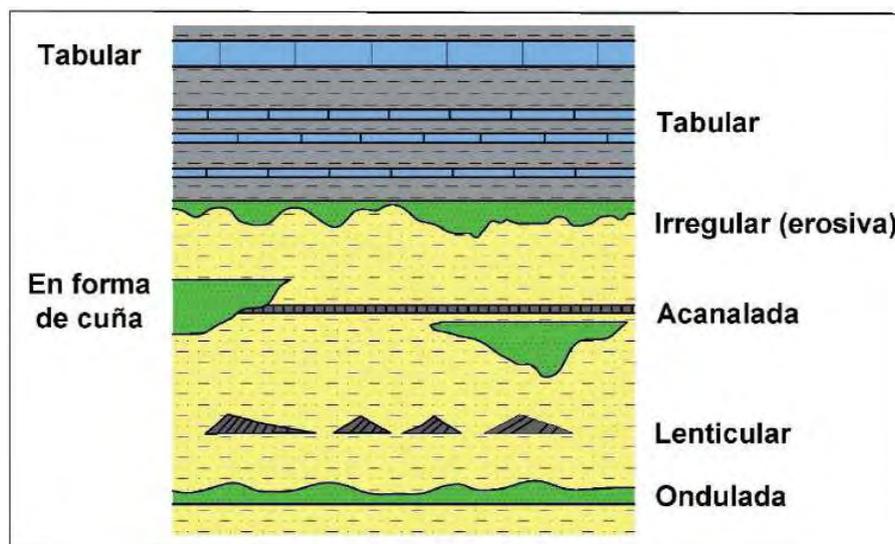


Figura 1. 5. Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor.

Fuente: Vera (1994)

Asociación de estratos

Vera (1994), indica que cuando se estudian conjuntos de estratos, se pueden realizar diversos tipos de clasificaciones basadas en criterios descriptivos, pero que a su vez representan diferentes tipos de génesis. En la figura siguiente se recogen las diversas posibilidades de ordenación. Una primera clasificación se basa en considerar la ordenación de espesores individuales en el conjunto de estratos sucesivos:

Uniforme: Espesor análogo de todos los estratos, con un valor muy cercano a la media estadística de todos los espesores.

Aleatoria: El espesor de los estratos es muy variable, sin ordenación definida.

Estratocreciente: Ordenación de estratos con valores de espesores crecientes hacia el techo (similar al concepto de secuencia negativa de Lombard).

Estratodecreciente: Ordenación inversa a la anterior, con disminución de espesor de estratos hacia el techo (equivalente a la secuencia positiva de Lombard).

En haces: Los espesores se distribuyen por conjuntos de estratos, uniformes dentro de cada conjunto y diferentes entre conjuntos.

Masivas: No se diferencian a simple vista los espesores de los estratos.

Otro tipo de clasificación estaría basado en la litología de los estratos que se superponen:

- **Homogénea:** Cuando los estratos tienen la misma naturaleza.
- **Heterogénea:** Cuando la litología cambia de manera desordenada.
- **Rítmica:** Alternan ordenadamente dos tipos de litología.
- **Cíclica:** Cuando alternan más de dos tipos de litología.

Al relacionar los dos criterios anteriores: espesor-litología de los estratos, se obtienen datos muy valiosos para la interpretación genética de las asociaciones de estratos. Así si además de aumentar el espesor de estratos hacia el techo (estratoeciente) aumenta de forma similar el tamaño de grano (granocreciente), podemos deducir un aumento de energía en el medio. En el caso de ordenaciones rítmicas y cíclicas, en las que se pasa lateralmente de un término a (mayor energía o tamaño de grano), a otro b (energía media) y finalmente al c (energía mínima), el análisis de la abundancia relativa de los diferentes tipos de estratos y su variación lateral, proporciona datos sobre las condiciones de depósito y su situación dentro de la cuenca sedimentaria.

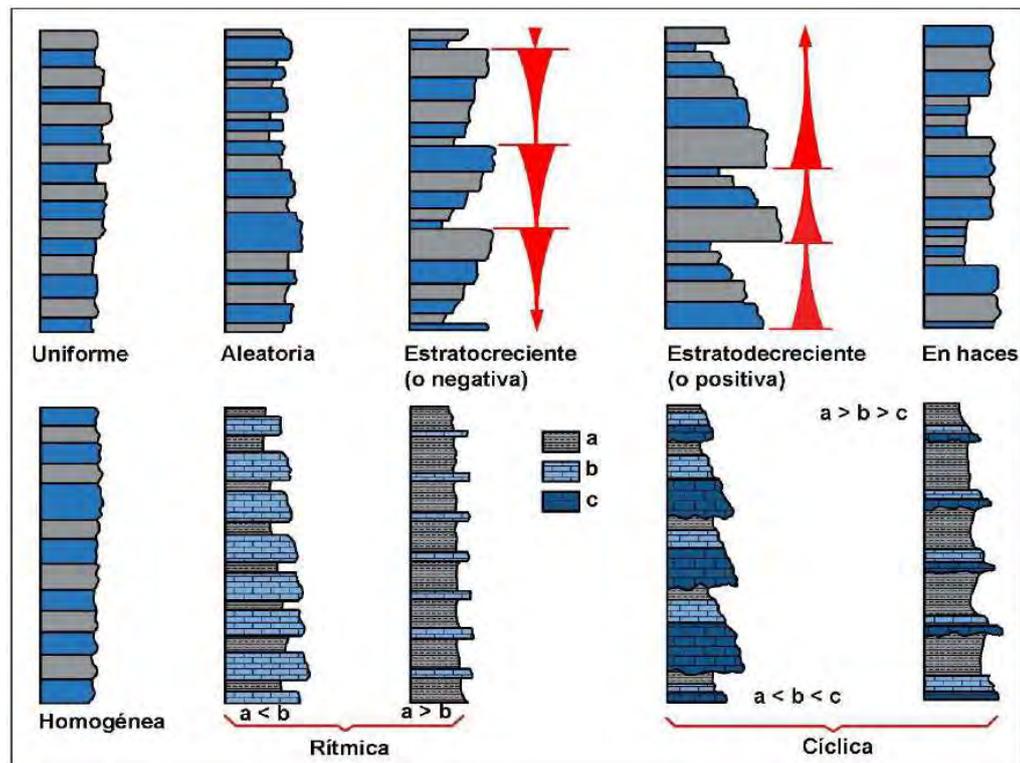


Figura 1. 6. Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes (explicación en el texto). Los términos a, b y c corresponden a tres tipos litológicos, en los que a sería el término de mayor tamaño de grano (en rocas detríticas) o de mayor energía (en rocas carbonatadas).

Fuente: Vera (1994).

Adjetivos para el espesor de estratos

Tabla 1. 5

Calificativos para describir la estratificación y laminación.

Espesor en (milímetros)	Calificativos para clasificar la estratificación	Calificativos para describir la partición
Sin estructura interna aparente	Estratos masivos	Masivo
> 1000	Estratos muy gruesos	Masivo
300 a 1000	Estratos gruesos	Bloques
100 a 300	Estratos medios	Bloques
30 a 100	Estratos delgados	Fragmentos
10 a 30	Estratos muy delgados	Fragmentos
5 a 10	Láminas gruesas	Lajas
1 a 5	Láminas medias	Laminas
0,5 a 1	Láminas delgadas	Fisibles
< 0,5	Láminas muy delgadas	Hojoso
Términos generales	Estratos o laminas	Estratos o láminas

Fuente: Tomado de Potter et al. (1980)

Facies

El término original fue definido por Gressly (1838), como: conjunto de características litológicas y faunísticas de una unidad estratigráfica que permite distinguirla de las adyacentes.

Por tanto, de acuerdo con Selley (1970), definiremos una facie como un conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de otros por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles (Arche, 2010).

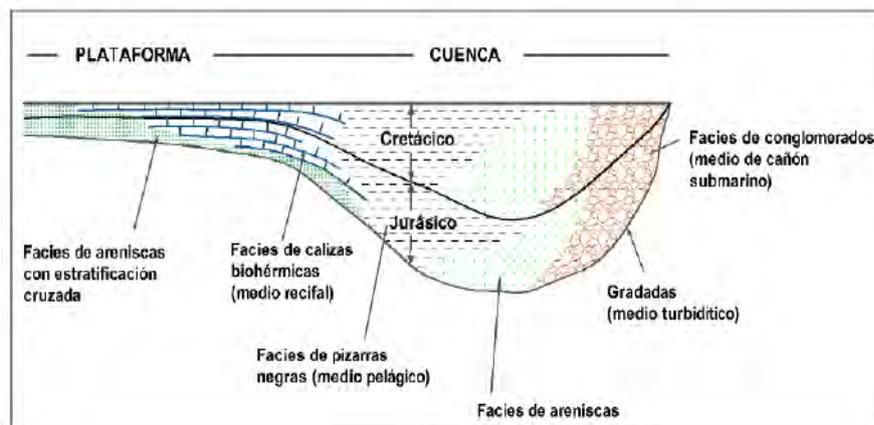


Figura 1. 7. Relación entre medio, proceso, facies y tiempo en una cuenca sedimentaria teórica

Fuente: Modificado de Selley (1976) y Arche (2010).

Principios de clasificación estratigráfica y categorías reconocidas

La Guía Estratigráfica Internacional, publicada por la Subcomisión Internacional de Clasificación Estratigráfica de la Comisión de Estratigrafía de la UIGS (1980), el Código Estratigráfico Norteamericano (1982), y otras publicaciones aceptadas en la literatura geológica, reconocen y describen a las tres categorías más importantes y conocidas:

- **Litoestratigrafía:** Parte de la Estratigrafía que trata de la organización de los estratos en unidades basadas en sus caracteres litológicos y posición estratigráfica.
- **Bioestratigrafía:** Parte de la Estratigrafía que trata de la organización de los estratos en unidades basadas en su contenido fósil.
- **Cronoestratigrafía:** Parte de la Estratigrafía que trata de la organización de los estratos en unidades basadas en sus relaciones de edad.

No obstante, debido a que las rocas (estratificadas o no), poseen muchas propiedades o atributos, también es posible clasificarlas de acuerdo a sus propiedades de polaridad magnética, propiedades eléctricas, reacciones sísmicas, composición química o mineralógica y muchas otras (ambientes de formación).

Es importante destacar que el nivel estratigráfico donde cambia una propiedad o atributo no coincide necesariamente con el nivel de cambio de cualquier otro atributo o propiedad (Fig. 1.8), no siendo excepcional que sus límites se crucen. Al mismo tiempo es importante señalar que todos estos tipos de propiedad o atributos se combinan íntimamente para permitir los logros esenciales de la Estratigrafía como es el mejor conocimiento de los estratos de la tierra, a partir del cual se puede esbozar la sucesión de eventos, procesos y vida en el pasado.

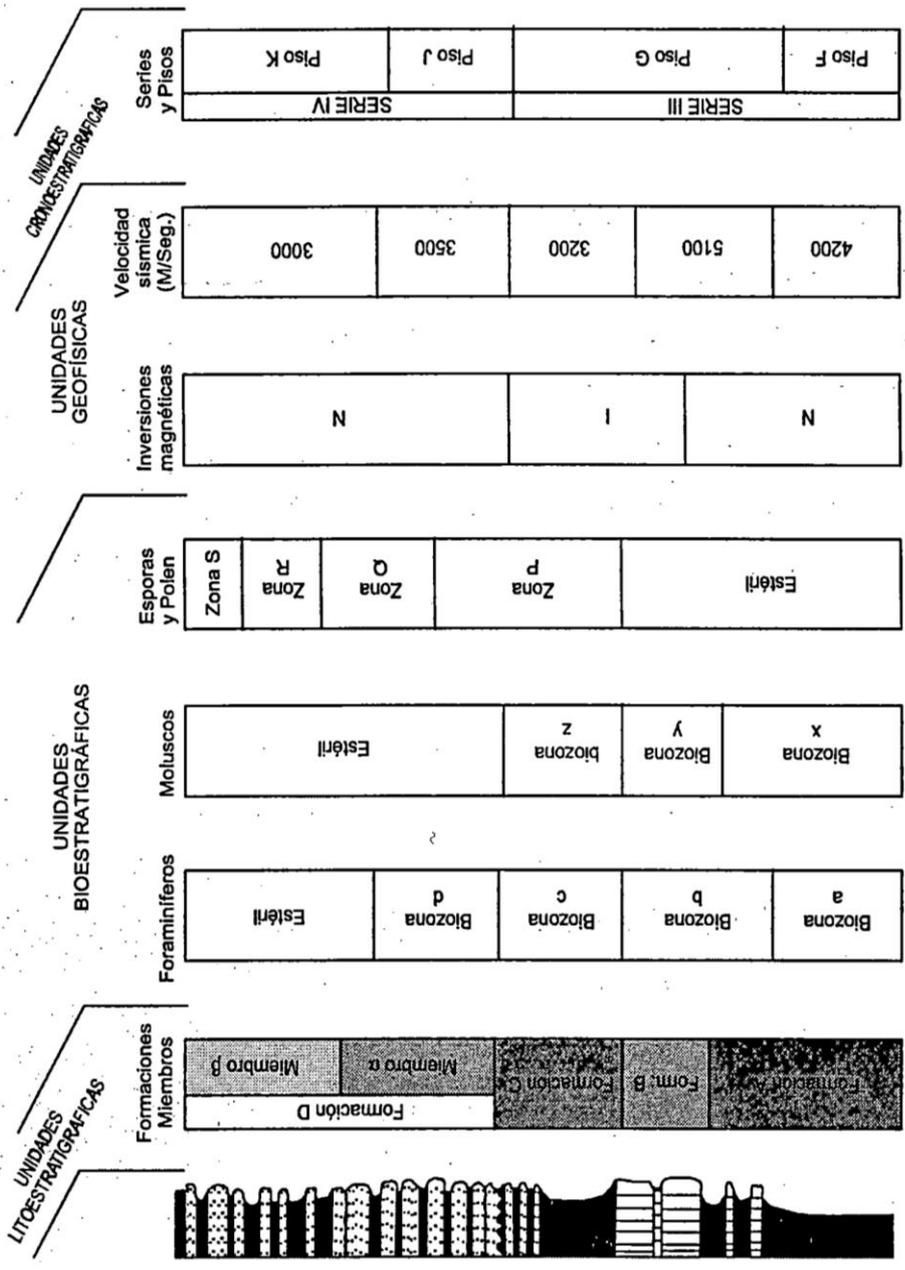


Figura 1. 8. Ilustración de las diferencias de posición de los niveles o líneas de cambio de las diversas propiedades o atributos en una sección estratigráfica.

Fuente: Guía Estratigráfica Internacional (1960).

Litoestratigrafía

Definición

El aspecto más importante del estudio estratigráfico es el reconocimiento, la subdivisión y la correlación (establecer la equivalencia) de las rocas sedimentarias sobre la base de su litología, es decir la litoestratigrafía.

Boggs (2006), la litoestratigrafía se ocupa del estudio de las relaciones estratigráficas entre estratos que pueden identificarse sobre la base de la litología.

Sánchez y León (1997), la litoestratigrafía se aplica a cualquier tipo de roca: sedimentaria, ígnea (ciertos placolitos interestratificados) o metamórfica (con bajo grado de metamorfismo) y sus unidades se reconocen y definen por sus características físicas observables y no por la interpretación de su historia geológica o modo de origen.

Definición de unidades litoestratigráficas

De acuerdo con la Guía Estratigráfica Internacional (GEI, 1980) se define como unidad litoestratigráfica a un conjunto de estratos que constituyen una unidad, por estar compuesto predominantemente por un cierto tipo litológico o de una combinación de tipos litológicos, o por poseer otras características litológicas importantes en común, que sirvan para agrupar los estratos. Una unidad litoestratigráfica es, por tanto, un volumen reconocible de rocas, y diferenciable de los volúmenes que le rodean, por su litología.

El Código de Nomenclatura Estratigráfica (CNE, 1961) y la Guía Estratigráfica Internacional (GEI, 1980) establecen como unidad fundamental dentro de las unidades litoestratigráficas formales a la formación. Se define como un conjunto de estratos de rango intermedio en la jerarquía de las unidades litoestratigráficas formales. Cuando en una formación se puedan diferenciar dos o más partes, atendiendo a sus litofacies, se pueden

establecer unidades litoestratigráficas de rango menor, las cuales reciben el nombre de miembros.

Finalmente, dentro de una formación o en su caso de un miembro se pueden delimitar unidades litoestratigráficas de rango menor a las que se llama *capas*. Este término se aplica a estratos cuyo espesor puede variar desde un centímetro hasta pocos metros con características litológicas muy peculiares, fácilmente diferenciables (Vera, 1994).

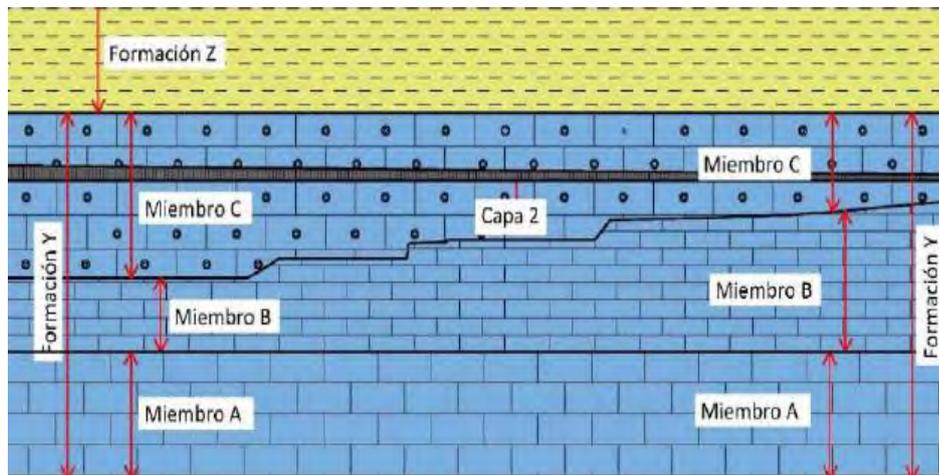


Figura 1. 9. Gráfico en el que se muestran los rangos de unidades litoestratigráficas. Se representan tres formaciones (X, Y, Z) y en una de ellas (Formación Y) se diferencian tres miembros (A, B, C). Se muestran dos ejemplos de capa: la capa 1 es una unidad litoestratigráfica de rango menor diferenciada directamente dentro de una formación, mientras que la capa 2 es una unidad, del menor rango, dentro de un Miembro.

Fuente: Vera (1994)

Categoría de las unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas se ordenan de mayor a menor rango y son las siguientes:

Grupo, Formación, Miembro, Estrato o Capa (Tabla 1.6).

Grupo

El Grupo es la unidad litoestratigráfica de rango inmediatamente superior al de formación. Un Grupo puede estar completamente constituido por formaciones nombradas, o puede estarlo parcialmente por formaciones no nombradas.

Formación

La Formación es la unidad fundamental en la clasificación litoestratigráfica. Una Formación es un cuerpo de roca que se identifica por sus características líticas y por su posición estratigráfica; generalmente, aunque no necesariamente, es tabular y se puede cartografiar en la superficie de la tierra o seguirse en el subsuelo.

Miembro

Un Miembro es una unidad litoestratigráfica de rango inmediatamente inferior al de formación y siempre es parte de una formación. Se reconoce como una entidad con nombre dentro de una formación porque posee características que la distinguen de las partes adyacentes de la formación.

Estrato(s) o capa

Un Estrato, o conjunto de estratos, es la unidad litoestratigráfica formal más pequeña de las rocas sedimentarias.

Tabla 1. 6.

Representación de las jerarquías de las unidades litoestratigráfica

Unidades Litoestratigráficas
Grupo: Dos o más formaciones.
Formación: Unidad fundamental de la litoestratigrafía.
Miembro: Unidad litológica establecida dentro de una formación.
Capa: Estrato distintivo establecido dentro de un miembro o formación.

Fuente: Sánchez & León (1997).

Reconocimiento de las unidades litoestratigráficas

El método de estudio más elemental, pero también el más importante, es el de la observación directa en el campo de las características de los materiales estratificados. Las primeras observaciones consisten en el reconocimiento de los diferentes tipos de rocas que afloran en una región y de su posición relativa (ordenamiento lateral y vertical).

El orden habitual de obtención de datos sobre la ordenación de las rocas estratificadas es el siguiente:

1. Estudio de la sucesión estratigráfica de un afloramiento, que implica la ordenación de los materiales mediante la aplicación del principio de la superposición.
2. Estudio de afloramientos cercanos que permitan ver si los materiales mantienen sus características litológicas y geométricas o por el contrario ocurren cambios laterales.

A partir de estas observaciones se pueden delimitar las unidades litoestratigráficas, que son conjuntos de estratos con características afines y diferenciables de los conjuntos de estratos infrayacentes y suprayacentes. En cada una de las unidades interesa conocer con detalle las características de sus materiales (litología, color, texturas, estructuras sedimentarias, propiedades de la estratificación, contenido fosilífero, etc.), geometría (especialmente sus espesores) y su distribución espacial o cartográfica (Vera, 1994).

I. Reconocimiento de litología textura

En el campo los diferentes tipos de rocas se reconocen por comparación visual, generalmente con la ayuda de una lupa, con las rocas sedimentarias ya conocidas. En el área donde se desarrollará la presente tesis se encuentran rocas carbonatadas por lo que más adelante se verá su clasificación (Vera, 1994).

II. Reconocimiento de las características de la estratificación

En cada unidad litoestratigráfica, el primer aspecto que se considera es si se trata de un material homogéneo o de uno formado por varios términos litológicos o texturales que se repiten ordenadamente. En todos los casos interesa conocer las características de las superficies de estratificación que pueden ser erosivas o no, planas o irregulares, graduales o bruscas, etc. Igualmente hay que estudiar la geometría de los estratos diferenciando los tabulares, los lenticulares, los irregulares (Vera, 1994).

III. Reconocimiento de estructuras sedimentarias

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

Las estructuras sedimentarias pueden dividirse en tres categorías: pre, sin y postsedimentarias (Arche, 2010).

A. Estructuras pre sedimentarias

Las estructuras pre sedimentarias se forman en el basamento antes de que se depositen los sedimentos. Por tanto, son siempre erosivas, y no deben confundirse con procesos postdeposición que deforman la base de la capa, como los moldes de carga (load-casts). Entre otras son los canales, marcas de escurridura (scour marks) y turboglifos (flute marks).

Suelen observarse mucho mejor los moldes en la capa superior que las estructuras en sí mismas y dan buenas indicaciones sobre la dirección y/o el sentido de las corrientes que las originaron.

También se pueden considerar incluidas en este grupo las superficies marinas de omisión (hardgrounds) o las superficies subaéreas con grietas de desecación y/o brechas autogénicas (Arche, 2010).

B. Estructuras sin sedimentarias

Las estructuras sin-sedimentarias son de tres tipos fundamentales: estratificación planar, estratificación cruzada, con sus variedades de surco y planar, y microlaminación de ripples.

Cuando un sedimento granular se ve sometido a una corriente de velocidad ascendente, desarrolla configuraciones externas que se reflejan en una estructura interna con una secuencia regular: ripples o capas planas, dunas, capas planas de alta energía y antidunas. Hay que destacar que la aparición o desaparición de cada tipo no está ligada a una velocidad única, sino que depende de la granulometría del sedimento y de la profundidad del agua (Arche, 2010).

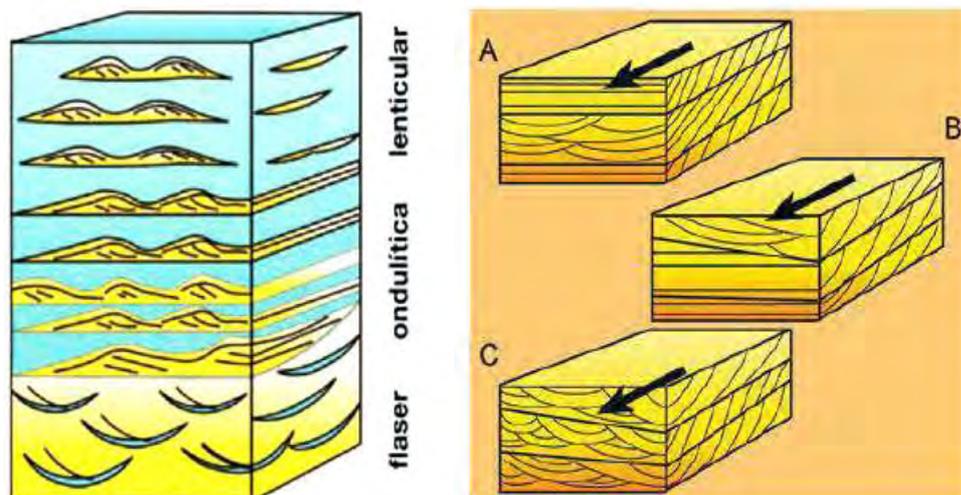


Figura 1. 10. Izquierda: Esquema mostrando estratificación mixta, integrada por laminación flaser, ondulítica y lenticular. Derecha: A. Esquema mostrando laminación o estratificación entrecruzada tabular planar en dirección longitudinal al flujo B. Laminación/estratificación entrecruzada tangencial en dirección longitudinal al flujo. C. Laminación/estratificación entrecruzada en artesa en dirección transversal al flujo.

Fuente: Ponce, Carmona, & Montagna (2018).

C. Estructuras postsedimentarias

Se pueden dividir en dos grupos:

Las que significan una organización en la vertical de la estratificación, como los moldes de carga (load casts) y pseudonódulos, formados cuando capas de arenas se hunden en capas arcillosas inferiores por diferencias de densidad y carga y las diversas estructuras de fluidificación, producidas por movimientos de fluidos en el interior de sedimentos no consolidados por carga diferencial o un efecto tixiotrópico causado por sacudidas bruscas debidas a terremotos u otras vibraciones.

Las que significan una reorganización horizontal de la estratificación, como los pliegues recumbentes y fallas penecontemporáneas causadas por un deslizamiento a favor de la paleopendiente. Ninguno de los dos grupos tiene significado ambiental.

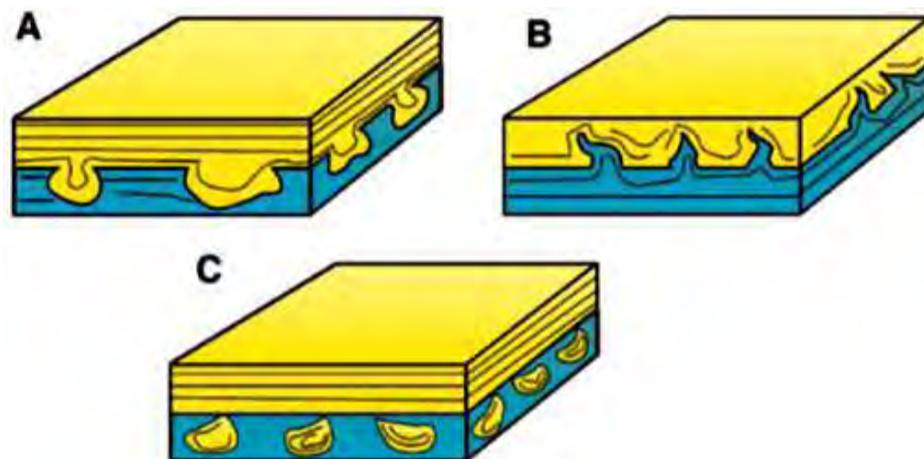


Figura 1. 11. Esquemas que muestran los diferentes tipos de estructuras de calcos de carga y en almohadilla. **A.** Calco de carga producido cuando la viscosidad entre los estratos es similar. **B.** Calco de carga producido cuando la viscosidad entre capas es diferente (flame). **C.** Estructuras en almohadilla generadas cuando existe ruptura de estratos

Fuente: Ponce, Carmona, & Montagna (2018).

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

Forma de las unidades litoestratigráficas

Geometría deducida a partir de los datos del campo

(Vera, 1994) las unidades litoestratigráficas observadas en el campo presentan geometrías muy variadas. Para reconstruir la geometría de la unidad es necesario disponer de cortes con grandes dimensiones y buenas condiciones de observación. En el caso de unidades con gran continuidad lateral se tiene que recurrir a la correlación (comparación con otras secciones estratigráficas) para ampliar el ámbito de información y a partir de los datos de cada sección (espesor y naturaleza del techo y muro) deducir la geometría de la unidad. No hay ninguna unidad litoestratigráfica con continuidad global, por lo que todas las unidades, incluidas éstas, terminan lateralmente, por acuñaamiento o por cambio lateral.

Analizando las posibles geometrías, a partir de la información de numerosos casos reales, se pueden establecer los siguientes tipos:

A. Unidades con techo y muro planos y paralelos

Este tipo geométrico caracteriza unidades que mantienen su espesor en casi toda su extensión (Fig. 1.12A). En función de la relación entre el espesor y la distancia máxima en la que se reconoce la unidad, Corrales et al. (1977), establecieron dos subtipos geométricos (laminares y tabulares) dentro de este tipo (Vera, 1994).

B. Unidades con techo plano y muro convexo

Se caracterizan por una manifiesta desigualdad geométrica entre techo y muro. El muro está marcado por un cambio brusco de facies, que implica erosión previa de los materiales

infrayacentes (Fig. 1.12B). El techo por el contrario es plano y presenta un cambio de facies gradual. En unidades litoestratigráficas de pequeño rango, este tipo de geometría es bastante recuente en medios fluviales, en los que alternan periodos con depósito con otros erosivos (Vera, 1994).

C. Unidades con techo plano y muro convexo

Son las llamadas unidades lenticulares o semilenticulares que se caracterizan por tener una escasa continuidad lateral (Fig. 1.12C). La relación entre la longitud y el espesor es inferior a 50. Son frecuentes en depósitos en medios sedimentarios muy reducidos como lagos pequeños o charcas (Vera, 1994).

D. Unidades con variaciones laterales de espesor

Son aquellas unidades litoestratigráficas en las que lateralmente se tienen cambios notables de espesor y, más concretamente, en las que los espesores se dupliquen o tripliquen lateralmente. Un primer tipo son las unidades con forma de cuña es las que se observa un cambio lateral de espesor gradual, de manera que aumenta en un sentido y disminuye en el otro (Fig. 1.12D). Un segundo tipo son las unidades con formas irregulares en las que la potencia varía de unos puntos a otros. Difieren de las de muro irregular, antes descritas, en el hecho de que en éstas el muro aparece como no erosivo (Fig. 1.12E) (Vera, 1994).

E. Unidades con formas especiales

Se incluyen aquí todas las unidades litoestratigráficas observadas en el campo cuya geometría responde a formas especiales reconocibles. Un primer tipo, muy simple, es el de las unidades de relleno de un paleocanal, que se caracterizan por su escasa continuidad lateral en sección transversal, por un muro claramente erosivo, con importantes cambios de espesor y un relleno detrítico (Fig. 1.12F). Un segundo tipo son las unidades con forma de montículo, con muro plano y techo convexo (Fig. 1.12G) propias de crecimientos orgánicos (arrecifales). Un

tercer tipo son las unidades con forma de abanico (Fig. 1.12H), las cuales son fácilmente reconocibles en unidades de pequeño tamaño (decamétricas) y mucho más difíciles de reconocer cuando son de grandes dimensiones (kilométricas) (Vera, 1994).

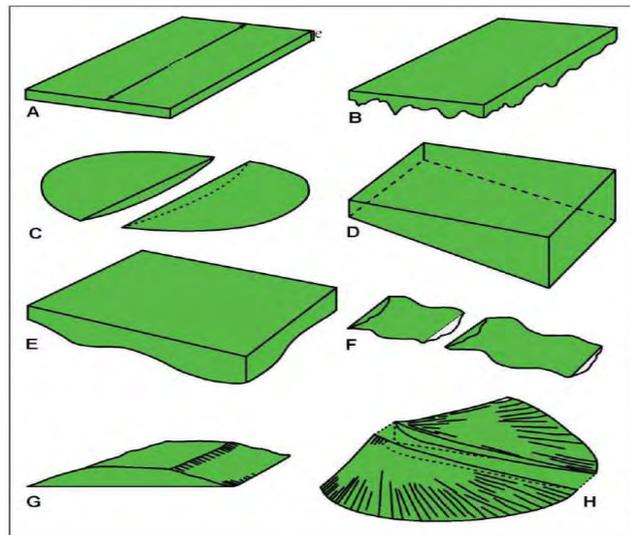


Figura 1. 12. Formas de las unidades litoestratigráficas, deducidas a partir de datos de campo. Explicación en el texto.

Fuente: Vera (1994).

Relaciones laterales de las unidades litoestratigráficas

Toda unidad litoestratigráfica lateralmente o desaparece o cambia a otra. Una de las maneras más simples de desaparición lateral de una unidad ocurre cuando su límite es una falla sin-sedimentaria que limita un sector con subsidencia y depósito de otro que no la tiene, de manera que la unidad litoestratigráfica termina lateralmente de manera brusca, con una superficie plana, coincidente con la de falla. En los demás casos, cuando no haya límites de fallas sin-sedimentarias, las relaciones laterales son geoméricamente menos bruscas y en ellas se pueden diferenciar varios tipos que se describen a continuación (Vera, 1994).

Acuñamiento

Con este nombre se denomina a la finalización lateral de una unidad litoestratigráfica por pérdida progresiva de espesor hasta su desaparición total.

Este tipo de relación lateral se produce en los bordes de un medio sedimentario que lateralmente cambia a un medio no depositacional. Son frecuentes en los bordes de cuencas sedimentarias, aunque también abunda dentro de cuenca en los límites de sectores con y sin depósito. Los materiales que constituyen la unidad litoestratigráfica que se acuña no tienen equivalente lateral coetáneo, porque en el área adyacente no hubo depósito, o incluso erosión (Vera, 1994).

Indentación

Con este nombre se alude al cambio lateral entre dos unidades Litoestratigráficas Coetáneas, en el que se produce una interpenetración de una en la otra, mediando entre ellas un cambio de facies brusco. El nombre alude a la geometría usual, a manera de "dientes" de una unidad que penetran dentro de la otra. Este tipo de relación se da en el límite entre dos medios sedimentarios (o litotopos dentro de un mismo medio) cuya posición geográfica ha ido cambiando a lo largo del tiempo (Vera, 1994).

Cambio lateral gradual

Se refiere al paso lateral de una unidad litoestratigráfica a otra de manera gradual, o sea, existiendo una franja con materiales con litofacies intermedias. Se puede hablar de cambios laterales que son perpendiculares a las líneas isócronas (líneas de la estratificación) o de cambios laterales que son oblicuos a dichas líneas. Este segundo tipo es mucho más frecuente que el primero. Estos cambios laterales graduales se dan entre materiales de diferentes partes de un mismo medio sedimentario (litotopos), en los que se produce sedimentación simultáneamente con diferente litofacies, pero con límites no netos (Vera, 1994).

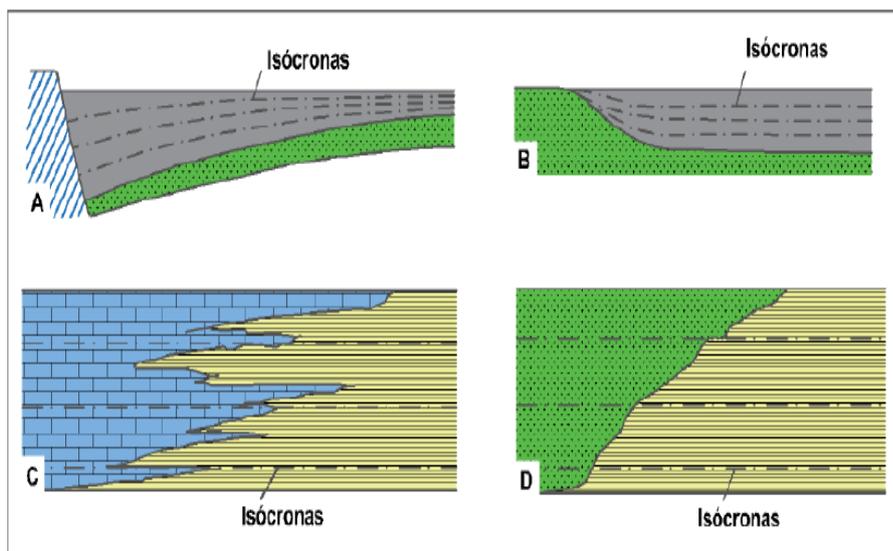


Figura 1. 13. Relaciones laterales entre unidades litoestratigráficas. A.- Límite de una unidad por una falla sinsedimentaria. B.- Acuñaamiento. C- Indentación. D.- Cambio lateral de facies.

Fuente: Vera (1994).

Relaciones verticales de las unidades litoestratigráficas

Las relaciones verticales entre dos unidades litoestratigráficas superpuestas quedan reflejadas en las características del techo de la unidad infrayacente y el muro de la suprayacente. Dos aspectos fundamentales son considerados en dicha relación: de una parte, las propias características geométricas de dicha superficie y de otra la relación geométrica de la estratificación por debajo y por encima de la misma (Vera, 1994).

Características de las superficies de separación

La superficie de separación entre dos unidades litoestratigráficas superpuestas puede presentar dos rasgos muy diferentes. De una parte, se puede tratar de un cambio brusco de litofacies, que separe materiales de litologías muy diferentes, y de otra de un cambio gradual que marque el paso progresivo de una litofacies a otra.

En los cambios bruscos de facies, coincidentes con límites de unidades litoestratigráficas superpuestas, la geometría de la superficie de separación entre ambas puede

ser: plana (Fig. 1.14a), erosiva (Fig. 1.14b), convexa (Fig. 1.14c), concordante (Fig. 1.14d) y discordante (Fig. 1.14e) (Vera, 1994).

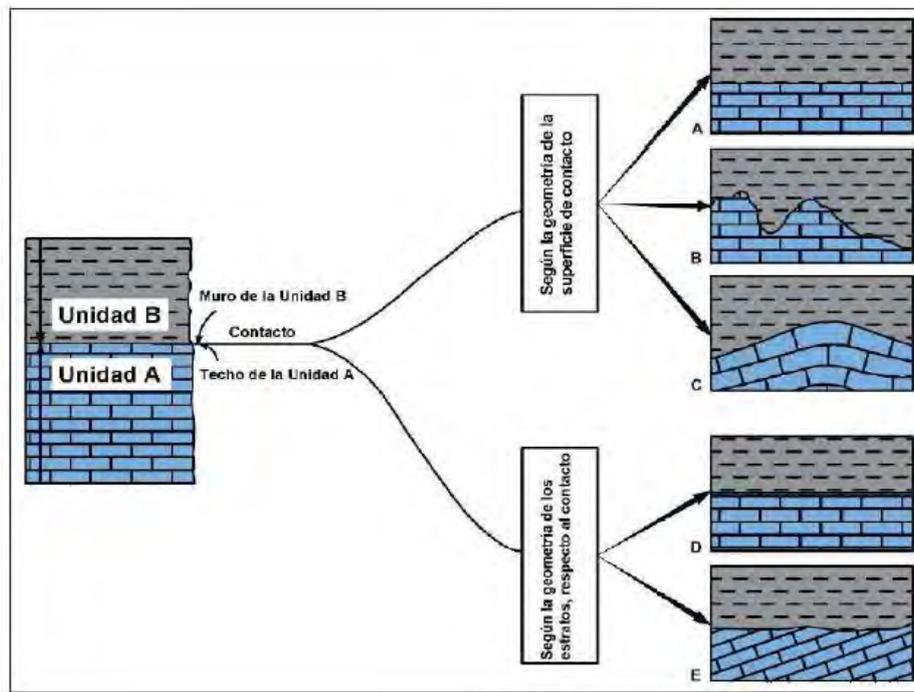


Figura 1. 14. Relaciones verticales entre unidades litoestratigráficas.

Fuente: Vera (1994).

Rocas sedimentarias

Sedimento y roca sedimentaria

Sedimento se aplica a toda clase de depósitos de material sólido, originados por un elemento móvil: agua, aire, hielo, etc., sobre la superficie terrestre. Sedimentación es el proceso por el que se deposita el sedimento, engloba no solamente la decantación física sino también la precipitación química y orgánica.

Cuando el sedimento se ha consolidado recibe el nombre de roca sedimentaria, roca formada por partículas sedimentarias, depositadas en capas o estratos de donde deriva el nombre de rocas estratificadas. La transformación del sedimento en roca sedimentaria se hace mediante procesos complejos donde destacan el enterramiento, compactación y cambios.

Las rocas sedimentarias se caracterizan por dos rasgos esenciales:

1. Presentan una estructura estratificada
2. Contienen generalmente fósiles

Composición de las rocas sedimentarias

Los componentes principales que conforman a las rocas sedimentarias con excepción de las rocas de origen exclusivamente orgánico son tres:

1. **Terrígenos:** son cristales sueltos, fragmentos de cristales y fragmentos de roca procedentes de rocas preexistentes por alteración y disgregación. Los materiales terrígenos se caracterizan además por haber sufrido un transporte más o menos largo y energético desde la roca fuente (roca madre) hasta la cuenca de depósito en la que ahora aparecen formando depósitos y rocas. Los procesos de transporte y sedimentación son los responsables de la morfología de los clastos y de otras características texturales.
2. **Ortoquímicos:** son los materiales formados por precipitación química directa en la propia cuenca de sedimentación, durante o inmediatamente después del depósito.
3. **Aloquímicos:** materiales de origen químico u órgano químico, formados en la misma cuenca pero que han llegado a la zona de depósito como clastos.

Clasificación de las rocas sedimentarias

De acuerdo a los procesos de meteorización, transporte y sedimentación se clasifican en dos grandes grupos: rocas sedimentarias detríticas y las no detríticas.

1. Rocas sedimentarias detríticas

Una roca detrítica es una roca sedimentaria formada por detritos, es decir, partículas sólidas procedentes de la meteorización física que han sido transportadas por agentes erosivos (agua, viento, hielo) hacia una cuenca sedimentaria, y allí han sufrido la compactación y la cementación (diagénesis).

Todas las rocas detríticas presentan textura clástica, los clastos pueden estar cementados por material ortoquímico y/o diagénético.

Las rocas con más del 50% de componentes terrígenos se denominan rocas detríticas y las que tienen menos del 50% de terrígenos reciben diversos nombres de acuerdo a la proporción de aloquímicos y ortoquímicos y son en su gran mayoría de composición carbonatada.

Se clasifican en función del tamaño de grano de los clastos que las forman en:

- ✓ Conglomerados: constituidas por clastos con diámetro superior a los 2mm.
- ✓ Areniscas: tamaño de los clastos de grano de 2mm y 1/16mm.
- ✓ Limolitas: tamaño de los clastos entre 1/16mm y 1/256mm.
- ✓ Lutitas: granos de tamaño inferior a 1/256mm.

2. Rocas sedimentarias no detríticas

Las rocas sedimentarias que pertenecen al grupo de las no detríticas son: las carbonatadas como la caliza, las evaporitas como el yeso, las silíceas como el sílex, fosfatadas como la fosforita y las ferruginosas. Presentan una textura no clástica.

Rocas carbonatadas

Roca carbonatada es aquella que está formada por más del 50% de minerales carbonatados (aragonito, calcita alta en Mg, calcita baja en Mg, dolomita, otros).

Las calizas son rocas sedimentarias de origen fundamentalmente químico u organógeno, formadas al menos por un 50% de carbonato de calcio. Las de origen bioquímico se forman por la acción de los seres vivos. Estos fijan el calcio disuelto en el agua y lo utilizan para construir sus esqueletos en forma de calcita o aragonito, cuando estos mueren, sus

esqueletos darán unas calizas formadas por calcita, también se depositan calizas en los fondos marinos como consecuencia del metabolismo de los seres vivos (Guerrero, 2001).

Origen de las rocas carbonatadas

1. Rocas carbonatadas detríticas

Formadas por fragmentos procedentes de la erosión de rocas carbonatadas preexistentes. Genéticamente son similares a un sedimento terrígeno (siliciclástico), pero con los granos de naturaleza carbonatada.

2. Calizas autóctonas o sensu estricto

Constituidas por componentes carbonáticos originados primariamente, por procesos químicos o bioquímicos, en un determinado ambiente de sedimentación (continental o marino). Estas constituyen la mayor parte de las rocas carbonatadas dentro del registro estratigráfico.

Constituyentes de los carbonatos

1. Aloquemos (aloquímicos) o granos carbonatados

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. Material intergranular (pasta) u ortoquímicos

Material intergranular

a) Micrita

Matriz o barro carbonatado compuesto por un agregado de cristales finos menores a 4 micras de aragonito a calcita rica en Mg. Por diagénesis se transforman en cristales de calcita baja en Mg. Al microscopio se ve como una masa homogénea criptocristalina y oscura, normalmente de color pardo.

La micrita se forma en ambientes protegidos, de baja energía, en caso contrario los pequeños cristales serían dispersados por las aguas cuando hay agitación. (Lagoons continentales, lagoons, plataforma profunda, fondos abisales).

b) Esparita (ortoesparita)

Término usado genéricamente para los cementos carbonatados. El cemento esparítico es un agregado de cristales de carbonato (aragonito o calcita) de tamaños mayores a las 4 micras que precipitan en los espacios existentes entre los granos de un sedimento carbonatado, o en los espacios internos de estas partículas.

Pseudoesparita: se forma por procesos neomórficos de recristalización (a diferencia del cemento esparítico).

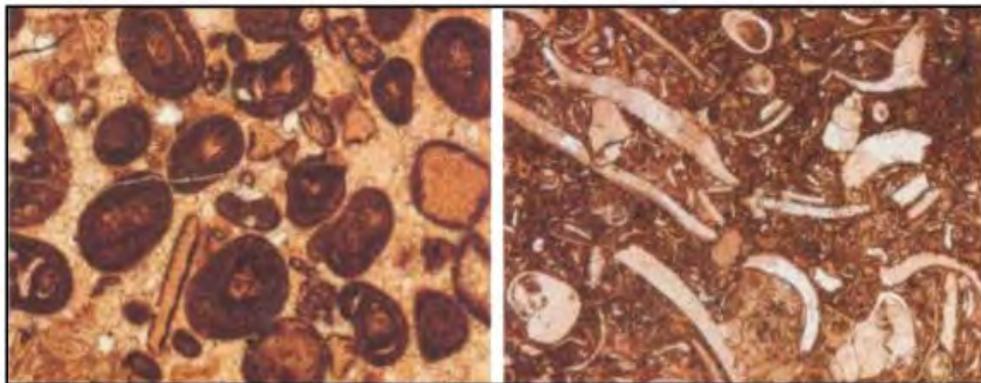


Figura 1. 15. En la imagen de la izquierda se aprecia esparita como material intergranular, en la figura de la derecha micrita.

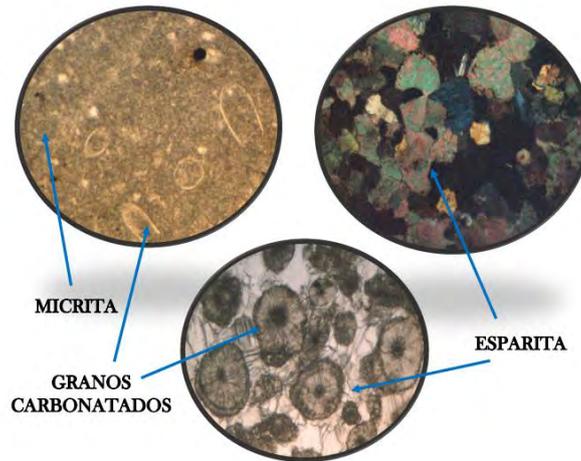


Figura 1. 16. En la imagen se observa la micrita como matriz, la esparita como cemento rellenando los poros, cavidades y fracturas y por último se observa a los aloquemos como granos carbonatados.

Fuente: website https://sivea.uson.mx/docentes/tareas/17_ROCAS_CARBONATADAS.pdf

Aloquemos

- **Bioclastos (Granos esqueléticos, fósiles):** Restos completos o fragmentados de los esqueletos construidos por organismos Ejm: moluscos (pelecípodos, gasterópodos, cefalópodos), braquiópodos, equinodermos, briozoos, foraminíferos, corales, algas calcáreas, etc.

Ambientes de formación: Cualquier ambiente marino o continental. Los diferentes grupos, géneros o especies están restringidos a determinados subambientes.

- **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.

Ambientes de formación: Submareales o intermareales con circulación restringida

- **Peloides:** Granos no esqueléticos de forma ovoidal, compuestos por micrita con una estructura interna masiva. 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 dentro de arrecifes.

- **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.

Ambientes de formación: 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.

- **Extraclastos:** Fragmentos redondeados o angulosos procedentes de la erosión de rocas carbonatadas más antiguas y externas al ambiente de sedimentación (fuera de la cuenca). 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
- Bordes desgastados

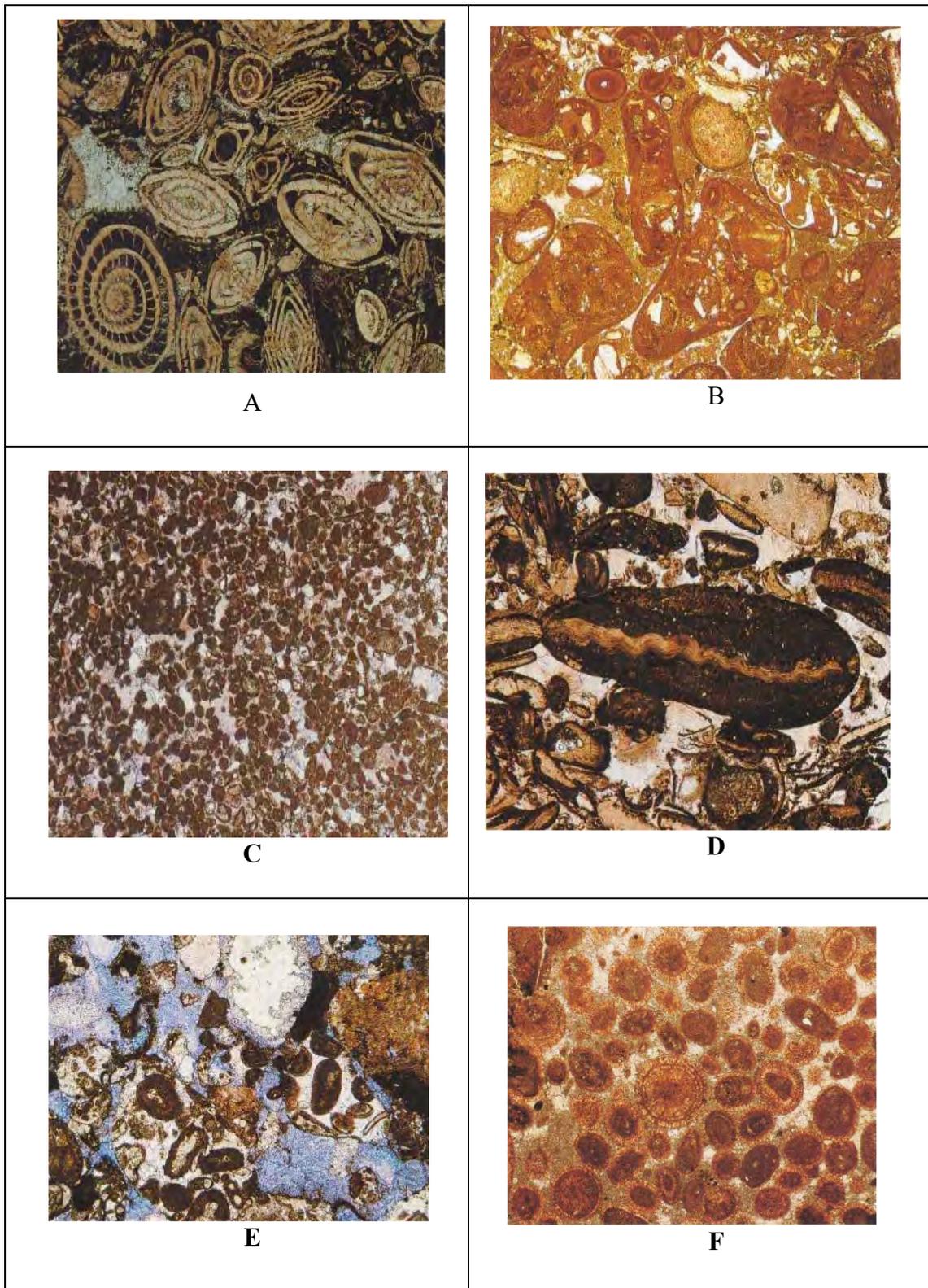


Figura 1. 17. En las imágenes se observan los aloquemos A= Bioclastos (foraminíferos), B= Granos agregados, C=Peloides, D=Intraclastos, E= Extraclasto y F= Oolitos.

Diagénesis en rocas carbonatadas

Las rocas carbonatadas presentan, desde el punto de vista diagénético, una característica muy importante en su alta diagenetibilidad, fruto de la rápida inestabilidad de sus componentes con el enterramiento. Dentro de los procesos diagénético se pueden diferenciar:

- Micritización
- Compactación
- Cementación
- Disolución
- Recristalización
- Dolomitización
- Micritización

Las clasificaciones más utilizadas para rocas carbonatadas son las de Dunham (1962) y la de Folk (1962).

Clasificación de Folk (1959,1962)

Folk establece una clasificación de calizas teniendo en cuenta las proporciones relativas de los tres constituyentes básicos: granos (aloquímicos), matriz micrítica y cemento esparítico (ortoquímicos). Diferencia tres tipos básicos de calizas: aloquímicas (con >10% de granos), micríticas (con <10% de granos) y biolititas. Dentro de las calizas aloquímicas distingue entre: calizas esparíticas (espacio intergranular ocupado por esparita) y calizas micríticas (espacio intergranular ocupado por micrita). Una de las limitaciones de esta clasificación es que no se puede aplicar a sedimentos Arribas et al. (2010).

Clasificación de Folk (1962)		Más del 10% de aloquímicos ROCAS TIPO I y II		Menos del 10% de aloquímicos ROCAS TIPO III		DOLOMIÁS ROCAS TIPO V		
		Cemento esparítico	Matriz micrítica	De 1 a 10% de aloquímicos		Con "fantasmas" de aloquímicos		
		TIPO I	TIPO II			Sin fantasmas		
COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA DE ALOQUÍMICOS	Más del 25% de INTRACLASTOS	INTRAESPARITA Intraesparrudita	INTRAMICRITA Intramicrorrudita	Según el aloquímico dominante	MICRITA con Intraclastos	MICRITA	Dolomia con Intraclastos	
	Menos del 25% de INTRACLASTOS	OOESPARITA Ooesparrudita	OOMICRITA Oomicrorrudita		MICRITA con Ooides		Dolomia con Ooides	
	Menos del 25% de OOIDES (relación de volúmenes de peloides y bioclastos b/p)	<1/3	BIOESPARITA Bioesparrudita		BIOMICRITA Biomicrorrudita		MICRITA con Bioclastos	Dolomia con Bioclastos
		3 - 1/3	BIOPELESPARITA		BIOPELMICRITA		MICRITA con Peloides	Dolomia con Peloides
		>3	PELESPARITA		PELMICRITA			
				BIOLITITO (ROCAS TIPO IV)		DOLOMIÁS		

Figura 1. 18. Clasificación textural de las rocas carbonatadas basada en el método de Folk (1959, 1962). Los nombres que se emplean para las rocas se han indicado en letras mayúsculas.

Fuente: Adams & Mackenzie (1997).

Más de 2/3 de matriz micrítica				Esparita y micrita en proporciones similares	Más de 2/3 de cemento esparítico		
0 - 1% de aloquímicos	1 - 10% de aloquímicos	10 - 50% de aloquímicos	Más del 50% de aloquímicos		Escasa selección	Buena selección	Redondeados y erosionados
Micrita y dismicrita	Micrita fosilífera	Biomicrita dispersa	Biomicrita enpaquetada	Bioesparita escasamente lavada	Bioesparita mal seleccionada	Bioesparita bien seleccionada	Bioesparita redondeada
■ Matriz micrítica		▨ Cemento de calcita esparítica					

Figura 1. 19. Rango de texturas que se presentan en las rocas carbonatadas, ilustradas usando los términos de la clasificación de Folk.

Fuente: Adams & Mackenzie (1997).

Clasificación de Dunham (1962)

Es la clasificación más utilizada ya que se basa principalmente en la presencia o ausencia de material micrítico, porcentaje de granos y relación entre ellos, signos de unión por crecimiento in situ de organismos; éstos son rasgos muy relacionados con la energía del medio.

Dunham reconoce dos grandes grupos:

Con textura reconocible

- **Mudstone:** Rocas carbonatadas con lodo micrítico y menos de un 10% de granos.
- **Wackestone:** Presencia de material micrítico con más de un 10% de granos, Esqueleto-matriz-soportado.
- **Packstone:** Matriz micrítica entre los granos; más porción de granos (esqueleto grano-soportado).
- **Grainstone:** No se sedimenta micrita, debido a la alta energía del medio. Esqueleto clasto-soportado.
- **Boundstone:** Los granos se encontraban ligados (in situ) durante la sedimentación.

Sin textura reconocible

Calizas recristalizadas y dolomías

Textura deposicional reconocible					Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación			Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico	Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción	
Con barro micrítico		Esqueleto grano-soportado			
Esqueleto matriz-soportado	Esqueleto				
< 10 % granos	> 10 % granos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Cristalina

Figura 1. 20. Clasificación de Dunham 1962

Fuente: Modificado de Moore (2001) y Arribas et al. (2010).

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

Figura 1. 21. Clasificación de calizas modificado de Dunham

Fuente: Hallsworth & Know (1999), modificado de Dunham.

Bioestratigrafía

Se llama bioestratigrafía a la parte de la estratigrafía que trata de los restos o evidencias de vida pasada en los estratos y de la organización de estos estratos en unidades basadas en su contenido fósil (GEI, 1980).

La bioestratigrafía es realmente una ciencia intermedia entre la propia Estratigrafía y la Paleontología que se ocupa de la distribución de los fósiles en el registro estratigráfico y de la subdivisión de los materiales estratificados en unidades bioestratigráficas (Vera, 1994).

Fósiles y Estratigrafía

El estudio de los fósiles proporcionó información fundamental sobre la evolución de la vida en la Tierra. Los esqueletos y conchas de animales o restos de plantas que se encuentran como fósiles son una clara evidencia del hecho de que la naturaleza de los organismos que viven en el planeta ha cambiado a través del tiempo.

Algunos de estos fósiles se parecen a plantas o animales que viven en la actualidad y están evidentemente relacionados con formas de vida modernas, mientras que otros son diferentes. Los más espectaculares de estos fósiles tienden a capturar la imaginación con visiones de épocas pasadas cuando, por ejemplo, los dinosaurios ocupaban nichos ecológicos en la tierra, en el mar e incluso en el aire. Incluso los fósiles revelan los restos de animales acuáticos como los ammonites y restos de plantas que no se parecen en nada a lo que vemos ahora que viven a nuestro alrededor (Nichols, 2009).

Fósiles característicos

Según Vera (1994), con el nombre de fósiles característicos (o fósiles índices, o fósiles guía) se denominan a los fósiles que pueden ser utilizados para delimitar intervalos de tiempo

geológico relativamente cortos y que, por tanto, pueden usarse como criterio de correlación estratigráfica precisa.

Un fósil característico ideal debería cumplir, de acuerdo con Babin (1987), en Vera (1994) y otros muchos autores, las tres condiciones siguientes: Que se trate de especies de evolución relativamente rápida con lo que cada especie sobrevive un intervalo de tiempo corto. La velocidad de la evolución de un grupo de fósiles se puede medir por la duración media de sus especies.

Que tenga una distribución geográfica muy amplia, si fuese posible ocupando toda la superficie de la tierra. Este aspecto siempre tiene limitaciones, ya que' no existen organismos que se encuentren simultáneamente en materiales de medios marinos y continentales. Dentro de los medios marinos los mejores fósiles característicos son los organismos nadadores o flotadores que vivan en aguas de diferente temperatura. Dentro de los continentales los mejores serán los organismos menos exigentes en factores ecológicos, y que, por tanto, puedan vivir a distintas latitudes, altitudes y tipos de relieve.

Que tenga una abundancia suficiente en el seno de las rocas sedimentarias, lo que refleja una frecuencia inicial y unas condiciones propicias para la fosilización. De este modo la posibilidad de encontrarse es mayor. Los microfósiles y nanofósiles marinos son excelentes ejemplos de organismos abundantes, ya que se pueden encontrar con gran frecuencia en volúmenes reducidos de las rocas.

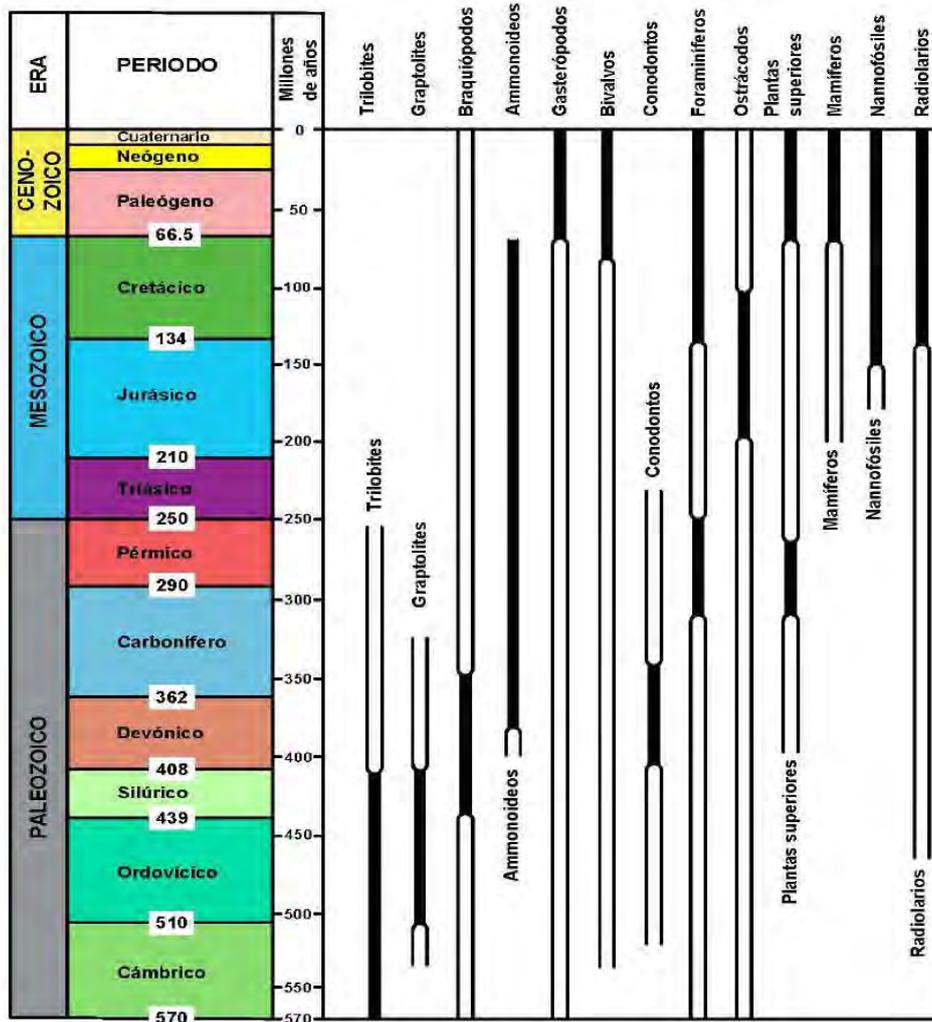


Figura 1. 22. Tabla de la distribución de los fósiles característicos a lo largo del tiempo geológico, desde el Cámbrico hasta la actualidad. La parte en la que el sector comprendido entre las dos líneas está relleno de negro indica el intervalo de tiempo en el que suministran una información más precisa. En blanco (entre las dos líneas) se indican los intervalos en los que están presentes, pero suministrando una información menos valiosa.

Fuente: Elaborado a partir de diferentes fuentes (Vera, 1994).

1.9. Variables e Indicadores
Variable Independiente

1. Litoestratigrafía

Variable dependiente

1. Secuencias de roca generadora de la Formación Arcurquina en la zona de Callimuro

Indicadores

Tabla 1. 7

Indicadores definidos para el estudio

Indicadores	Indices	Datos
Geología (litoestratigrafía)	Litología, textura, ambiente y estructuras sedimentarias.	Calizas micríticas masivas de ambiente somero.
Cartografía	Mapeo de afloramientos, fallas, alineamiento de la formación Arcurquina.	Rb y Bz (dirección Andina)
Geomorfología	Unidades fisiográficas (Formas de relieve).	Montañas altas y bajas, colinas altas y bajas, pie de monte, terrazas, llanuras aluviales y fluviales.
Tectónica	Ambiente geotectónico, Estructuras geológicas (diaclasas, pliegues y fallas).	zonas de deformación
Bioestratigrafía	Contenido de fósiles	Tipos de fósiles.
Análisis microscópico	Presencia de fósiles, textura, composición mineralógica, grado de fracturamiento.	Biomicrita, micrita, Sistema de fracturas (F1, F2 y F3).

Fuente: Elaboración propia

1.10. Metodología de la investigación

Exploratorio

Son aquellos que se investigan por primera vez o son estudios muy pocos investigados. En la zona de estudio no existen estudios específicos.

Descriptivo

Recolección de información de las muestras obtenidas, es decir la descripción preliminar de dichas muestras. Se recolectarán muestras de los afloramientos para su posterior análisis microscópico.

Analítica

Necesaria para la determinación del tratamiento de los datos. En la zona se desarrollará un análisis secuencial estratigráfico y bioestratigráfico.

Hipotético

Porque servirá para orientar a la investigación, ahorrando recursos y tiempo. A partir de este estudio se planteará una serie de hipótesis sobre el modelo estratigráfico de la formación Arcurquina.

Inductivo

Nos permitirá medir la probabilidad de acierto o desacierto que hay en los argumentos o hipótesis.

Deductivo

Partirá de los conocimientos teóricos y conceptuales para determinar las secuencias de roca generadora.

1.10.1. Diseño de la investigación

El tipo diseño de investigación del presente trabajo de tesis es **No Experimental**, de tipo **Transversal, Correlacional**.

- ✓ Se dice que es **Transversal** porque la toma de variables e indicadores, se da en un momento determinado de tiempo.
- ✓ Es **Correlacional**, porque nos permite analizar y estudiar la relación que hay entre los hechos y las variables con el fin de conocer la litoestratigrafía de las secuencias de la formación Arcurquina.

1.10.2. Procedimiento

Primeramente, una vez teniendo el tema apropiado para la realización de la presente tesis de investigación, se programó las fechas del cronograma a cumplir y se establecieron las fechas de salida de campo a la zona de trabajo que es Callimuro.

Pre-Gabinete

Pre-Gabinete I

Fue la primera fase para recopilar información bibliográfica todo referido a la zona de trabajo, así como boletines de Velille 30s - Yauri 30t - Azángaro 30u - Ayaviri 30v, boletín Cusco 28s – Livitaca 29s; así como trabajos de investigación referidos al tema, estudio de mapas geológicos Yauri 30t.

Pre-Gabinete II

Análisis de imágenes satelitales google Earth; Sas Planet; Geocatmin y Lansat, elaboración de mapas base en una escala 1:15000, mapa satelital, mapa de accesibilidad, mapa geológico regional Yauri 30t-fuente INGEMMET.

Campo

Campo I

En esta etapa lo primero que se hizo fue el reconocimiento de la zona de estudio las formaciones geológicas presentes, unidades fisiográficas, drenajes. Seguidamente se realizó el mapeo geológico 1: 10000, finalmente la toma de fotografías.

Campo II

Levantamiento de las columnas estratigráficas en la zona de trabajo, análisis de la secuencia de roca generadora, seguidamente se hizo el muestreo especial de los afloramientos calcáreos de la Formación Arcurquina para su posterior análisis, elaboración de secciones geológicas en la zona.

Gabinete

Gabinete I

Elaboración de los mapas utilizando los softwares ArcGIS, google Earth, Sas Planet, elaboración de secciones geológicas, columnas estratigráficas. Avance preliminar del trabajo de investigación.

Gabinete II

Codificación de las muestras para su respectivo envío al laboratorio, avance del trabajo de investigación.

Laboratorio

Laboratorio I

Descripción petrográfica macroscópica de las muestras CA-01, CA-02, CA-03, CA-04 y CA-05. Selección y preparación para la sección delgada de las muestras para su respectivo envío.

Laboratorio II

Descripción microscópica de las secciones delgadas, toma de microfotografías.

a. Fase de trabajo de gabinete II

- Realizar las columnas estratigráficas tomadas en la fase campo I.
- Preparación de mapas: geológico, geomorfológico, estructural.
- Análisis de las muestras petrográficas.
- Análisis de las fotografías tomadas.

b. Fase de trabajo de campo II

- Análisis de la secuencia de la roca generadora.
- Toma de muestras especiales para su análisis (microscópico).

c. Fase de trabajo de gabinete II

- Interpretación y análisis de la información obtenida en la fase campo II
- Elaboración de los mapas finales
- Interpretación de los resultados del laboratorio
- Redacción de la tesis
- Sustentación de la tesis para optar el grado de título profesional de Ingeniero Geólogo.

1.11. Clima

Por estar ubicada en la Región Sierra y a una altura muy elevada sobre el nivel del mar, el clima es templado a seco. Durante el día las temperaturas ascienden fuertemente, la insolación es fuerte con un cielo limpio y azulado, durante la noche las temperaturas ascienden fuertemente, en invierno a menos de cero grados centígrados.

1.11.1. Precipitación

Precipitación Pluvial: Las lluvias son muy escasas, un promedio anual de 83 mm. La Provincia recibe una apreciable cantidad de precipitación pluvial a lo largo del año, con una distribución variable en tiempo y espacio; la media anual se estima en 791.5mm. En general la distribución de la precipitación a lo largo del año es marcadamente diferente, presentándose un período “seco” largo entre los meses de abril a septiembre y un periodo “lluvioso” corto que se da entre noviembre a marzo. Las precipitaciones promedio durante el año oscilan entre los 590 mm y 820 mm dando como resultado para esta zona un clima seco. Este comportamiento regular y condiciona el calendario agrícola de la zona, con siembras que se inician en septiembre aprovechando las primeras lluvias, y cultivos que se extienden hasta mayo o junio.

1.11.2. Temperatura

El comportamiento térmico se ve influenciado por la altitud y el relieve, por lo que la oscilación de las temperaturas entre el día y la noche es considerable, la temperatura mínima anual es de 2.6 °C, en el mes de junio, la media anual es de 6.6°C y las máximas se registran en los meses de noviembre y diciembre con 17.5°C.

1.12. Flora y Fauna

Debido a que el área en general se encuentra sobre los 4000 m.s.n.m. las temperaturas bajas influyen en el desarrollo y distribución de la flora en la zona altiplánica, la cual está constituida predominantemente por ichu (stepa obtusa) y por arbustos como tola (spidophyllum cuadrangulares) que se encuentran muy dispersos, concentrándose sólo en las partes bajas, También debido a la altitud las gramíneas solamente se desarrollan en los lugares con agua permanente como sucede en los bofedales.

La vegetación que se identifica en esta zona son pastizales y/o pajonales y pequeños bofedales por ser este un clima seco.



Foto 1. 2. Vegetación de la zona de estudio

Flora

La flora que presenta la zona de estudio es netamente de la zona, la mayoría de estas plantas son medicinales que los lugareños lo utilizan para diferentes remedios y otros sirven de alimento para la fauna. Se encuentran normalmente en las colinas altas y bajas, así como también en las terrazas.

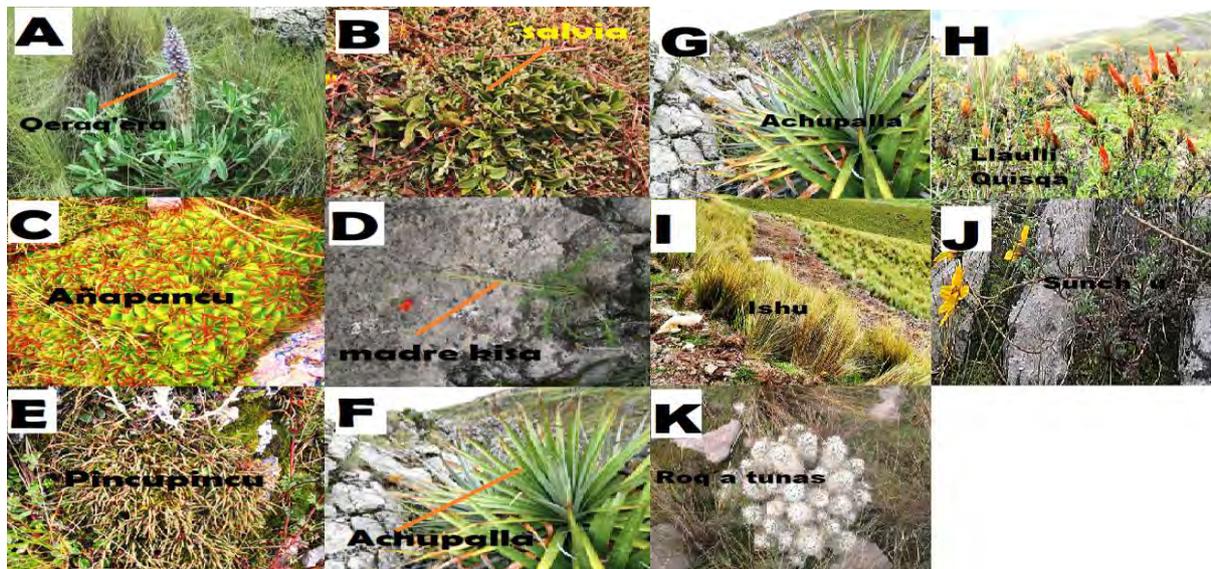


Foto 1. 3. La flora en la zona de estudio. A: Q'era q'era, B: Salvia, C: Añapancu, D: Madre kisa, E: Pincupincu, F: Achupalla, G: Achupalla, H: Llaulli quisqa, I: Ichu, J: Sunchu, K: Roq'a tunas.

Fauna

La fauna de la zona de estudio es oriunda de la puna y son muy característicos a la altura como el zorro, ovejas, auquénidos, burro y venado andino.

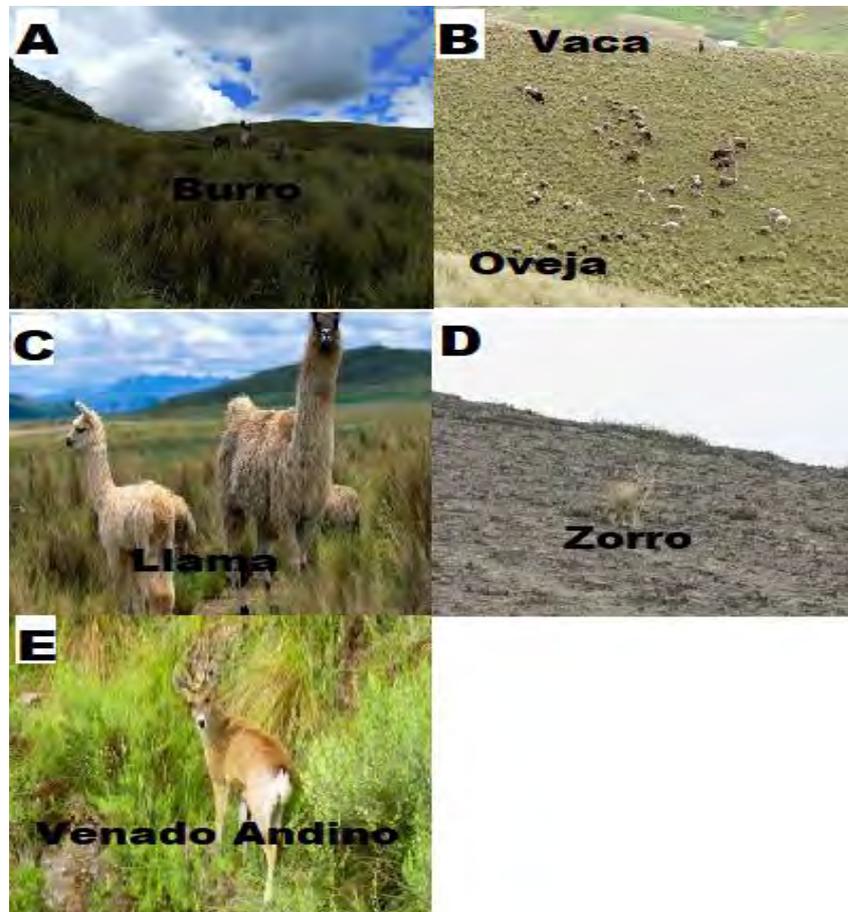


Foto 1. 4. Muestra la fauna de la zona de estudio A: Burro, B: Vacunos y ovinos, C: Auquénidos, D: zorro, E: Venado Andino.

CAPITULO II

GEOMORFOLOGIA

2.1. Generalidades

El origen y las características del relieve de la región Cusco se deben a diversos episodios de modelamiento tectónico y climático, que han sido los motores para la exhumación y conservación de la cadena de los Andes. Estos procesos originaron diversas formas de paisajes, constituyéndose así la geomorfología actual de su territorio (Benavente et al. 2013).

La región presenta cuatro grandes unidades Morfoestructurales que son la cordillera Occidental, la cordillera Oriental, la faja subandina y el llano amazónico, que en conjunto confieren un matiz complejo al relieve, donde se observan diferentes paisajes: altiplanicies, paisajes montañosos, colinas y los paisajes de llanura amazónica (Benavente et al. 2013).

2.2. Geomorfología regional

Regionalmente la zona de estudio se ubica dentro del Altiplano occidental y oriental (Figura 2.1).

2.2.1. Altiplano occidental

Se localiza entre el borde norte de la cordillera occidental y el altiplano oriental, corresponde al antiguo alto mesozoico Cusco-Puno, limitado por los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri Carlotto et al. (2005) y Carlotto (2006), en el Cenozoico jugaron como fallas de rumbo e inversas, controlando el relleno sedimentario de las cuencas sinorogénicas de capas rojas (Eoceno-Mioceno). A partir de los estudios de los magmas potásicos y ultrapotásicos como leucititas traquibasaltos y tefritas del Oligo-Mioceno terminal (27-6 Ma), se interpreta que bajo el altiplano occidental y/o borde norte de la cordillera occidental, la presencia de un manto lezolitico metasomatisado con edades meso-neoproterozoico (Carlier et al. 2005).

2.2.2. Altiplano oriental

Corresponde a la cuenca Putina situada en el borde sur de la Cordillera Oriental, que presentan un substrato con rocas del Paleozoico inferior. Esta cuenca ha sido rellenada durante el mesocenozoico y muestra una tectónica de faja corrida y plegada con vergencia suroeste desarrollada en el Cenozoico. El magmatismo permo-triásico y jurásico, así como los sistemas de fallas, indican la existencia de movimientos distensivos relacionados a sistemas de rifts en esas épocas. Aquí se ha desarrollado el arco interno cenozoico (Clark et al. 1984) donde se tiene un magmatismo potásico a ultrapotásico representado por las shoshonitas, lamproitas y minetes del Oligo-Mioceno-Plioceno (Carlier et al. 2005). Está limitada al oeste por el sistema de fallas NO-SE Urcos-Sicuani-Ayaviri y al este por el sistema de fallas de la Cordillera Real. Estos dos grandes sistemas de fallas definen un bloque litosférico infrayacido por un manto de harzburgita metasomatisado de edad paleo-proterozoico a arqueana (Carlier et al. 2005) diferente al terreno de Arequipa. Para Mamani et al. (2008), este dominio corresponde al borde este del dominio proterozoico de Arequipa, evidenciado por isótopos de Pb no radiogénicos.



Figura 2. 1. Dominio estructural de la zona de trabajo.

Fuente: INGEMMET

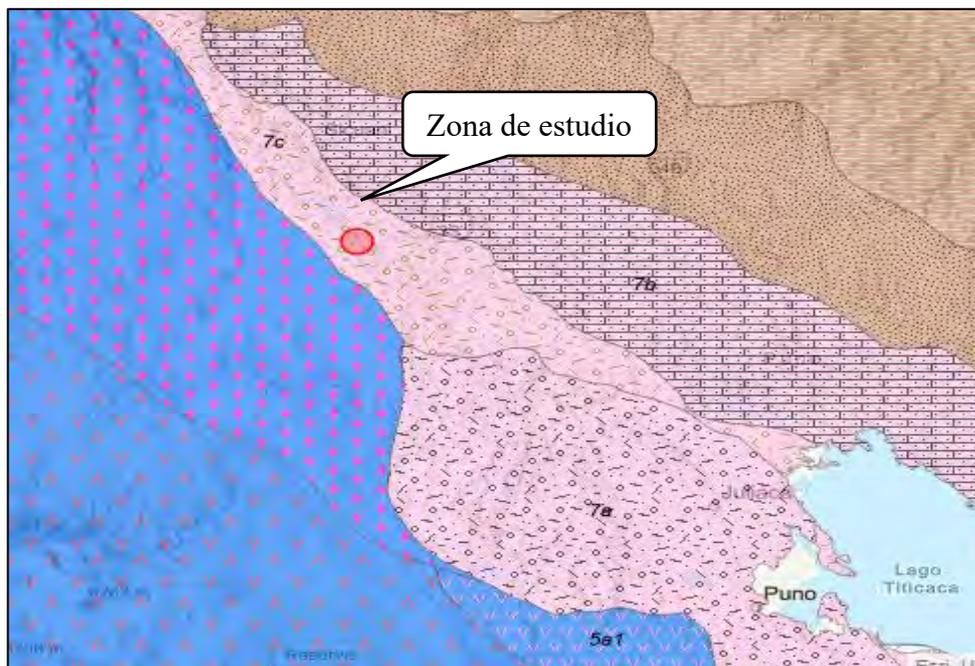
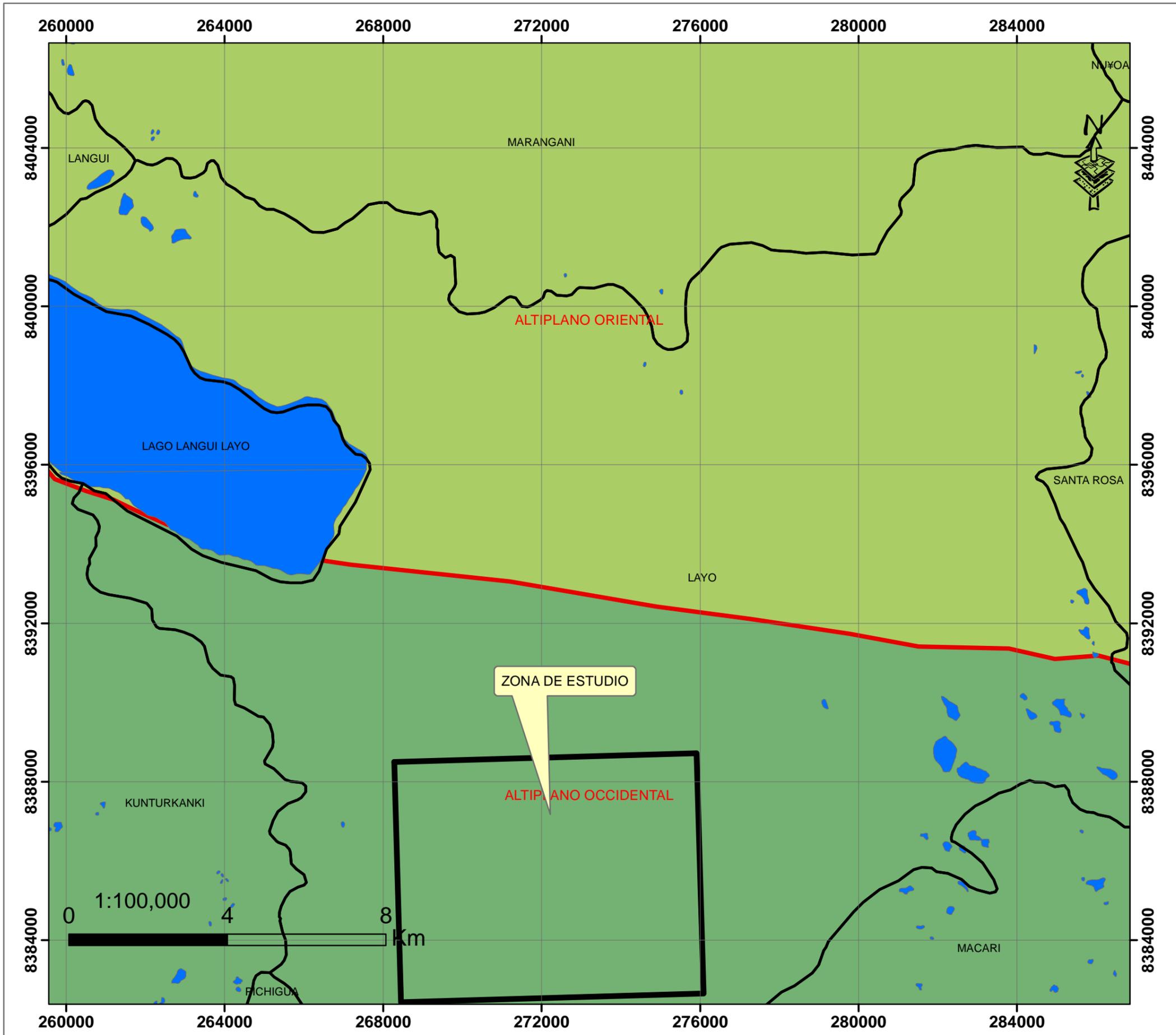


Figura 2. 2. Dominios estructurales

Fuente: INGEMMET actualizado.

MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL



SIMBOLOGIA

- Zona de Estudio
- Lagos

Unidades Geomorfologicos

- ALTIPLANO OCCIDENTAL
- ALTIPLANO ORIENTAL

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
MAPA: GEOMORFOLOGICO REGIONAL		SISTEMA DE COORDENADAS			
UBICACION		PROYECCION: Universal Transversa Mercator(UTM)			
REGION: Cusco		ELIPSOIDE O DATUM HORIZONTAL: World geodesic system 1984(WGS84)			
PROVINCIA: Canas		HUSO Y ZONA: 19S.SUR			
DISTRITO: Layo		ASESOR:		ELABORADO POR:	
SECTOR: Callimuro		Dr. Rómulo Escobedo Zapana		Br. Rosmery Maquerhua Mantilla	
				Br. Anali Balvina Ccoá Yucra	
		FUENTE:		Propia	
ESCALA DE IMPRESION: A4	ESCALA DE TRABAJO: 1:100,000	FECHA: MAY. 2023	CODIGO: MGR-01	MAPA N°: 04	

2.3. Geomorfología local

La geomorfología local en la zona de estudio está enmarcada dentro del Altiplano Occidental cuyos relieves están relativamente ondulados sobre rocas carbonatadas con alturas que varían entre 4100 y 4558 msnm. Donde se tiene geoformas positivas y negativas que están determinadas por el control estructural local que junto con la erosión han determinado las unidades geomorfológicas locales como zona de montañas, colinas altas y bajas, pie de monte, terrazas y llanuras aluviales y fluviales.

Para la elaboración de la Geomorfología local se hizo mediante el mapeo en campo de las geoformas presente en la zona de estudio.

2.3.1. Montañas

Estas geoformas se caracterizan por la altura de los 1000 m por encima del nivel de base. En la zona de trabajo se presenta en las partes altas con una pendiente fuerte (Foto 2.1 y Foto 2.2). Están compuestas normalmente por afloramientos de la Fm Arcurquina y los depósitos Glaciofluviales.



Foto 2. 1. Montañas bajas cubiertas por depósitos cuaternarios y en algunas de las calizas Arcurquina.



Foto 2. 2. Montañas altas cubiertas por depósitos glaciales y en algunas de las calizas Arcurquina.

2.3.2. Colinas altas y bajas

Estas geoformas se caracterizan por la altura de 200 m por encima del nivel de base. En la zona se presentan varias Colinas por debajo de las montañas Bajas, en algunas de ellas se observa las calizas de la formación Arcurquina como también los depósitos Glaciofluviales y coluviales.



Foto 2. 3. Clasificación de las colinas altas y bajas en la zona de estudio cubiertas por depósitos cuaternarios.

2.3.3. Pie de monte

Estas geoformas se caracterizan por presentar el punto de inflexión después de las vertientes de ladera, depósitos que descienden hacia las llanuras de inundación. En nuestra zona está compuesto por depósitos coluviales.



Foto 2. 4. Clasificación de terrazas altas y bajas en la zona de estudio cubiertas por depósitos cuaternarios.

2.3.4. Terrazas

Se encuentran emplazadas sobre depósitos cuaternarios aluviales, coluviales y eluviales, se encuentra en las partes bajas de la quebrada.

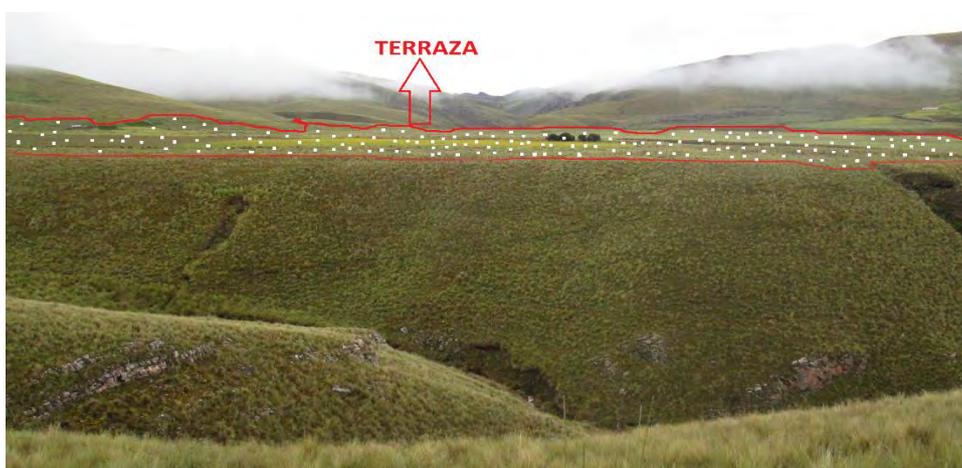


Foto 2. 5. Clasificación de terrazas altas y bajas en la zona de estudio cubiertas por depósitos cuaternarios.

2.3.5. Llanuras aluviales y fluviales

Se encuentran en la parte más baja a nivel de base del río, compuesta de materiales aluviales y fluviales.



Foto 2. 6. Clasificación de los depósitos aluviales y fluviales en la parte más baja depositados por la erosión del agua.

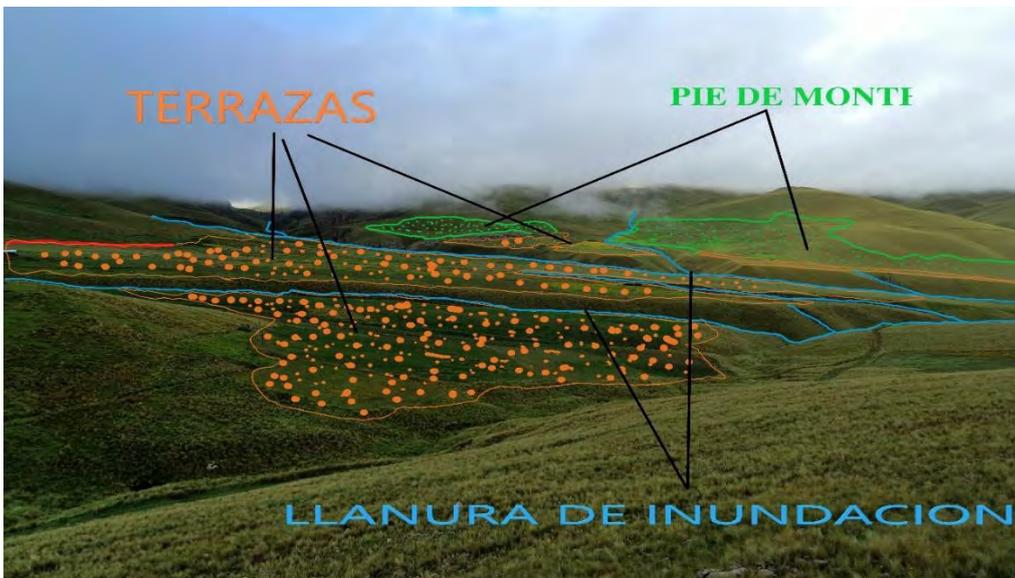
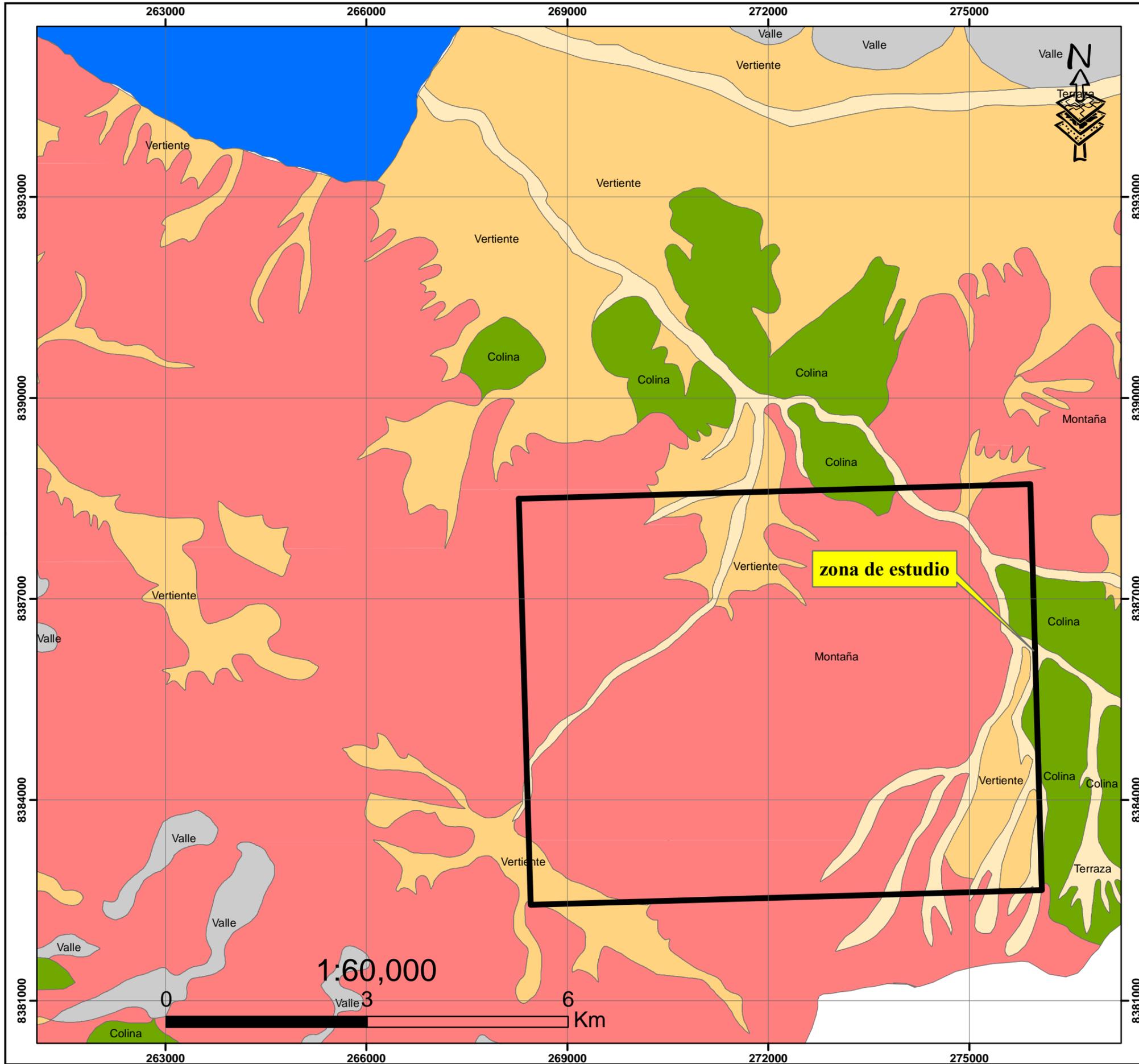
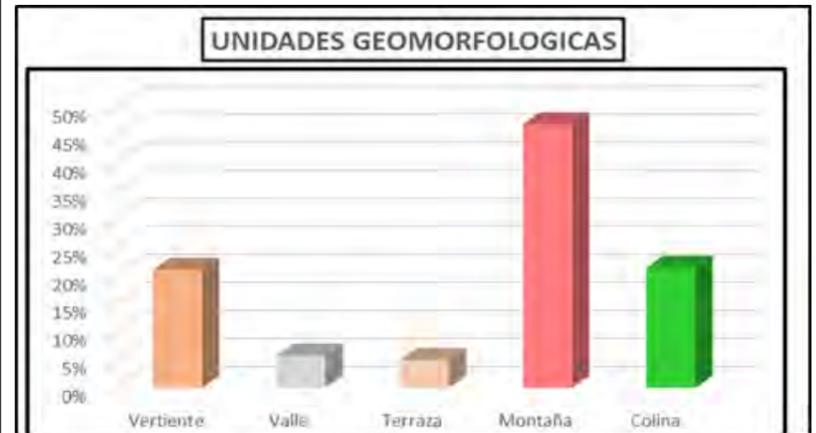
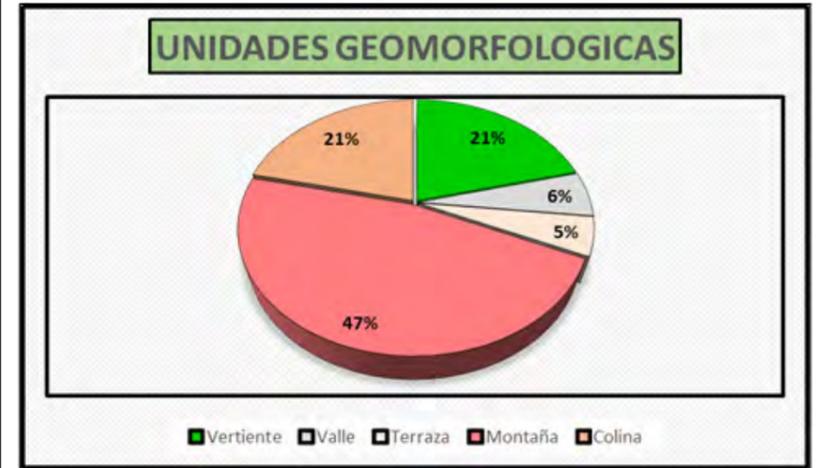


Foto 2. 7. Clasificación de las geoformas en la zona de estudio.

MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL



COD	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	AREA(Ha)	AREA (%)
1	Vertiente	6,904.45	21%
2	Valle	1,890.06	6%
3	Terraza	1,626.27	5%
4	Montaña	15,434.02	47%
6	Colina	7,026.49	21%
TOTAL		32,881.29	100%



SIMBOLOGIA

- Zona de Estudio
- Drenajes
- Lagos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
MAPA: UBICACIÓN		GEOMORFOLOGICO LOCAL
REGION: Cusco PROVINCIA: Canas DISTRITO: Layo SECTOR: Callimuro		SISTEMA DE COORDENADAS PROYECCION: Universal Transversa Mercator(UTM) ELIPSOIDE O DATUM HORIZONTAL: World geodesic system 1984(WGS84) HUSO Y ZONA: 19S,SUR
ASESOR: Rómulo Escobedo Zapana	ELABORADO POR: Dr. Br. Rosmery Maquerhua Mantilla	FUENTE: Propia
ESCALA DE IMPRESION: A4	ESCALA DE TRABAJO: 1:25000	FECHA: MAY. 2023 CODIGO: MGL-01 MAPA N°: 05

CAPITULO III

GEOLOGIA

3.1. Generalidades

La descripción geológica es de suma importancia para determinar las características litológicas de las formaciones. Esta descripción fue realizada fundamentalmente con la información proporcionada por el INGEMMET, mediante el cuadrángulo de Velille, Ayaviri, Yauri y Azángaro de las hojas 30-s, 30-t, 30-u y 30-v.

3.2. Geología regional

Se mencionarán aquellas formaciones geológicas a nivel regional, en referencia al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

MESOZOICO

GRUPO YURA

3.2.1. Formación Huallhuani (Ki-hu): Cretácico inferior

Jenks (1948), describe por primera vez, al Oeste de Arequipa se encuentra ampliamente distribuida en el área de trabajo, aparece en exposiciones cubiertas por secuencias litoestratigráficas más jóvenes; sus mayores afloramientos se encuentran en el cuadrángulo de Yauri, en tanto que en el cuadrángulo de Velille están restringidos a la esquina Noroccidental de la hoja.

Litología y ambiente sedimentario

Jenks (1948), la secuencia está constituida por areniscas cuarzosas blanquecinas de grano medio a grueso con clastos subredondeados de cuarcita, estructuralmente están obliteradas (Fig. 3.1); y se presentan rodeando al Batolito de Abancay de composición diorítica/granodiorítica. Son interpretados como el resultado de medios fluviales de canales profundos de gran dinámica, que probablemente corresponden a un sistema deltaico (Klinck et al. 1986).

Edad y correlación

No se ha encontrado fósiles en la secuencia, pero de acuerdo a las relaciones estratigráficas (Figura 3.1) se le considera como del Cretácico inferior. La unidad es correlacionable con la Formación Chachacumane del Sur del Perú y la formación homónima de los cuadrángulos de Cailloma y Arequipa.

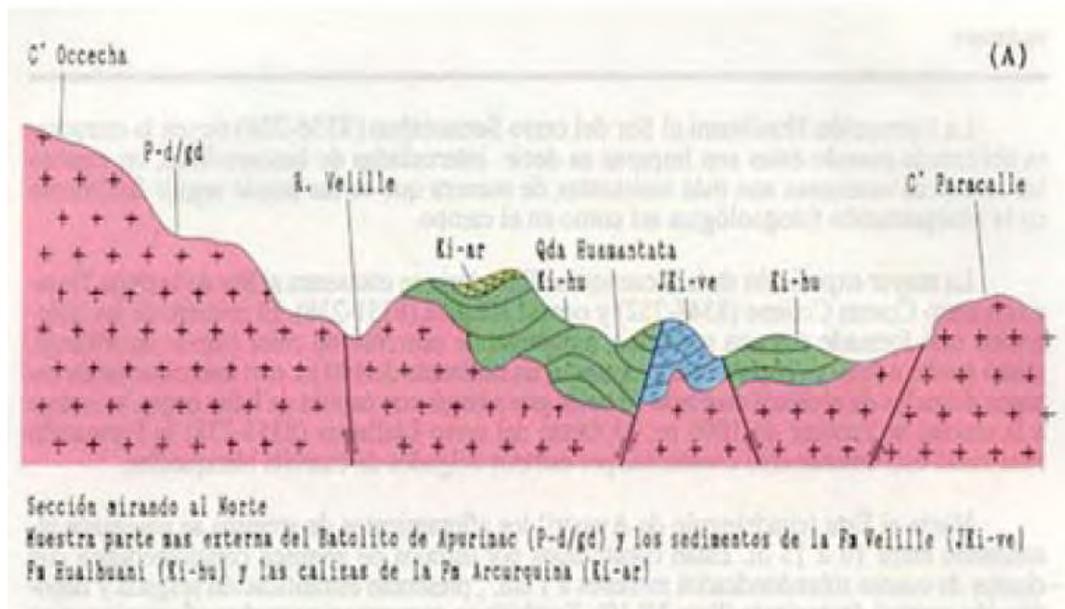


Figura 3. 1. Muestra el batolito de Apurímac (P-d/gd) y los sedimentos de la Fm. Velille, Fm Huallhuani y las calizas de la Fm Arcurquina.

Fuente: Jenks (1948)

3.2.2. Formación Arcurquina (Kis-a): Cretácico medio

Cuadrángulo de Arequipa

Jenks (1948) y Benavides (1962), las calizas de la Formación Arcurquina sobreyacen en concordancia a la Formación Huambo. Ambas formaciones marcan la gran transgresión del Albiano-Turoniano en la cuenca de Arequipa.

Litología y ambiente de sedimentación

Jaillard (1995), la Formación Arcurquina tiene un espesor de 600 m y ha sido dividida en cuatro secuencias mayores. Se trata básicamente de calizas micríticas, mudstones de plataforma carbonatada poco profunda pero muy subsidente.

Edad

Los fósiles indican edades que van del Albiano inferior al Turoniano (Benavides, 1962).



Figura 3. 2. Columna estratigráfica del relleno sedimentario de la cuenca de Arequipa en Yura.

Fuente: Modificado de Vicente (1981).

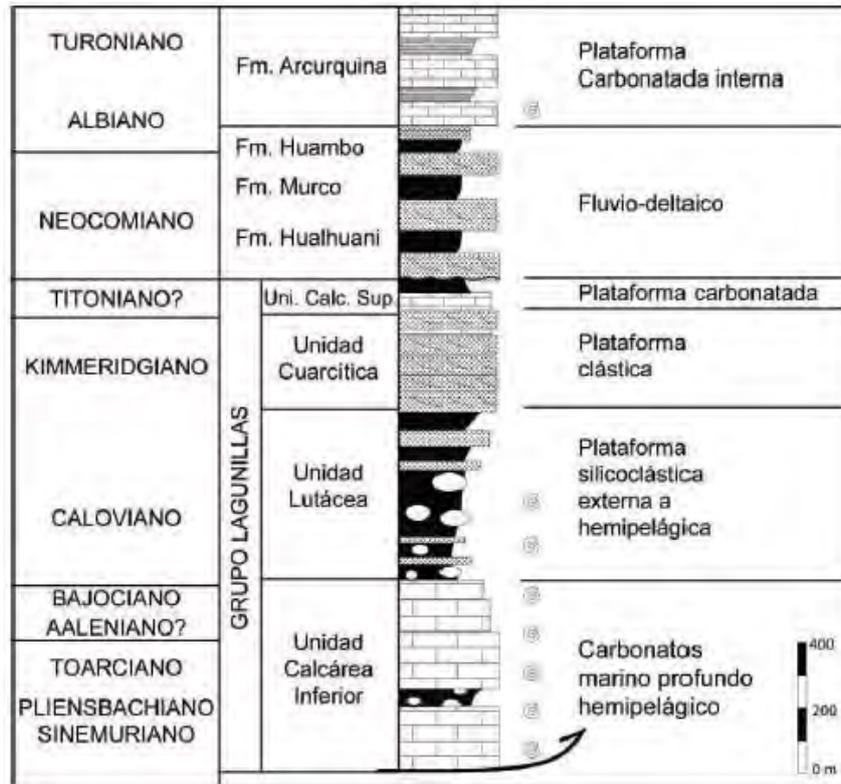


Figura 3. 3. Columna estratigráfica del Grupo Lagunillas en la región de Mañazo-Lagunillas.

Fuente: Jaillard y Santander (1992).

Formación Arcurquina en el cuadrángulo de Velille

En el cuadrángulo de Velille se le encuentra distribuída en afloramientos dispersos localizados en la esquina Noroeste.

Litología y ambiente de sedimentación

Jenks (1948), casi la mayoría de sus afloramientos están formados por calizas gris azulinas de aspecto masivo a excepción de los afloramientos del Sur de Ccanco Ccala. Los estratos de caliza de color blanquecino y azulino son menores a un metro de espesor y se caracterizan por presentar venillas entrecruzadas de calcita; además, las calizas están recristalizadas y marmolizadas con manchas verdosas de óxidos de cobre como se observa en las inmediaciones de la hacienda Chalhuanca.

En el cuadrángulo de Velille, las relaciones estratigráficas de la Formación Arcurquina con las secuencias subyacentes Formación Hualhuani están en discordancia angular y el techo erosionado.

En toda esta área es común encontrar a las calizas Arcurquina infrayaciendo discordantemente a la secuencia de areniscas y conglomerados del Grupo Puno.

Edad

En el curso de los trabajos de campo, cerca de la laguna Matayacocha (8342-285) se ha colectado la fauna fosilífera siguiente: *Cerithium* sp, gasterópodo indeterminado que indica edad cretácea y ambiente marino.

Cuadrángulo de Cusco y Livitaca

Jenks (1948), establece esta denominación y ratificada por Benavides (1962), para la secuencia calcárea que sobreyace a los clásticos Murco al Noreste de Arequipa, pero por Abancay Marocco (1975) y Pecho (1981), emplean el termino Ferrobamba para la secuencia calcárea de posición estratigráfica similar a la Formación Arcurquina. Posteriormente Mendivil (1978), usa el término de Arcurquina diferenciando tres miembros para el área de Livitaca.

La Formación Arcurquina es una secuencia calcárea de calizas gris a gris oscuras, dolomías en capas medianas, margas y lutitas en porcentaje reducido, constituyendo conjuntos afines que se caracterizan por su composición, textura y secuencia, razones por las cuales Mendivil (1978), diferencio tres unidades con categorías de miembros las cuales seguidamente se describe.

Miembro A: Constituido por una gruesa secuencia de calizas grises, oscura pardas y amarillentas con patina gris blanquecina o amarillo rosado, la estratificación definida en capas gruesas hasta dos metros, cuyas comisuras son conspicuas fácilmente observables a gran

distancia, hecho que se considera como característica no solo de esta unidad sino de toda la formación.

Miembro B: Consiste de calizas, dolomías y margas gris claras en capas medianas a gruesas, algo brecoideas con abundantes nódulos de chert de forma irregular, generalmente aplanado, alargados o dispuestos paralelamente a la estratificación, por meteorización el chert destaca nítidamente dentro del resto de la superficie de cada capa, formando salientes alargadas, pero en detalle tiene en forma irregular.

Miembro C: Está compuesto por calizas gris oscuras en parte azuladas, calizas margosas y margas en estratos gruesos con estratificación bien definida, esta unidad no siempre se encuentra debido a la acción erosiva actual.

Ambiente de sedimentación

En cuanto al ambiente de sedimentación de la Formación Arcurquina dadas las características litológicas, texturales y consideraciones regionales, cae dentro del ambiente nerítico, tal vez localmente con influencia paralic.

Edad y Correlación

La Formación Arcurquina Klinck et al. (1986), ha sido datada como de edad Aptiano y la Formación Ferrobamba según Marocco (1975), es del Aptiano-Turoniano por lo que en el presente trabajo se considera que las calizas tanto al Sur de Tintaya, Velille así como aquellos afloramientos al noreste de Yauri y noroeste de Ayaviri son de edad Aptiano superior-Albiano, correlacionable con las formaciones Ferrobamba del área de Abancay; Inca, Chúlec, Pariatambo y Pariahuanca del Perú Central y las formaciones homónimas descritas en los cuadrángulos de Arequipa, Cailloma y Livitaca.

O F O M O L O G Í C A	Formación Puquín	300		Areniscas cuarzosas de grano fino con niveles arcilitas rojas.
	Formación Sangarara	50		Calizas, calizas areniscosas gris con niveles limolíticas y arcilitas rojas
	Formación Acomayo	100		Limolitas arcilitas y niveles de areniscas de tonalidades rojizas.
	Formación Arcurquina	500		Calizas gris oscuras a azuladas. Calizas, dolomías margas gris claras. Calizas gris oscuras a amarillentas.
	Formación Huancané	200		Areniscas cuarcíticas rojizas a rosado blanquecina conglomerados hacia la base

Figura 3. 4. Columna estratigráfica de los cuadrángulos Cusco y Livitaca.

Fuente: Mendivil (1978).

3.2.3. Formación Auzangate (KsP-a): Cretácico-Paleógeno

Audebaud (1973) y Carlotto (1992), están constituidas por una secuencia fina pelítica de tonalidad rojiza que yace sobre la formación Vilquechico al sur del proyecto y al sur oeste se halla en contacto fallado con la Formación Tacaza. Se trata de una intercalación aparentemente monótona de limoarcillitas y areniscas arcósicas.

Edad y correlación

De acuerdo a su posición estratigráfica se le asigna una edad del Campaniano Maestrichtiano. (Cretácico superior-Cenomaniano). Se le puede correlacionar con la Formación Cayara de Bolivia.

CENOZOICO

3.2.4. Formación Muñani (P-mu): Paleógeno - Oligoceno

También fue inicialmente descrita por Newell (1949), en la hoja de Azángaro aflora ampliamente en las inmediaciones del pueblo de Muñani y se prolonga hacia el noroeste, donde forma parte del sinclinal asimétrico, abierto, con buzamientos menores de 15° que se encuentra bien expuesto en el cerro Altuypata (368-392).

Litología y ambiente sedimentario

La litología es monótona y está compuesta esencialmente por areniscas, la base de la secuencia está constituida por bancos masivos de areniscas en estratos mayor es a un metro de grosor y areniscas algo limoarcillíticas; hacia arriba, los estratos de arenisca son menores de un metro y están intercalados con niveles de limoarcillita rojiza oscura, en algunos niveles se encuentran clastos de cuarzo con diámetros inferiores a 3 cm.; los clastos son subredondeados y están dispersos en la matriz.

Edad y Correlación

Su relación estratigráfica con la secuencia infrayacente es en aparente débil discordancia angular; no se ha encontrado fósiles por lo que su edad se considera Cretácico superior al igual que la secuencia sedimentaria infrayacente. Constituye el techo de la cuenca sedimentaria Putina.

3.2.5. Grupo Puno (P-pu): Paleógeno-Oligoceno

Este Grupo ha sido ampliamente descrito por muchos autores, entre ellos Gerth (1915), que describió inicialmente los afloramientos que se encuentran al Noroeste de la ciudad de Puno, posteriormente Cabrera y Petersen (1936), lo describieron como formación y Newell (1949), la elevó a la categoría de Grupo.

Litología y ambiente sedimentario

La secuencia del Grupo Puno al Suroeste de Ayaviri, consiste principalmente de areniscas rojizas rosadas y conglomerados. Las areniscas son de grano fino a grueso generalmente arcósicas, los constituyentes feldespáticos casi siempre están alterados y tienen coloración clara, los estratos de conglomerado son masivos y menores a 2 m de espesor.

El Grupo Puno en general yace en discordancia angular sobre las calizas de la formación Arcurquina e infrayace a los aglomerados del Grupo Tacaza y a los volcánicos del Grupo Barroso, durante la medición de la sección se encontró restos óseos de un mamífero, mal conservado e incompleto.

Edad y correlación

De acuerdo a las charofitas reportadas al Este de la hacienda Urcunimuni por Chonove et al. (1969), la edad es Oligoceno. Las determinaciones geocronométricas hechas por el método K-Ar en areniscas y volcánicos del Grupo Coro Coro del Norte de Bolivia, equivalente lateral al Grupo Puno, reportó una edad de 38 m.a.

Se le correlaciona con la Formación Casapalca del Centro del Perú y la Formación Huanca de la cuenca restringida de Arequipa.

3.2.6. Grupo Tacaza (PN-t): Paleógeno-Neógeno

Fue descrita inicialmente por Newell (1949), como volcánico Tacaza en la mina del mismo nombre, localizada aproximadamente a 15 Km. al Noroeste de Santa Lucía (hoja de Lagunillas). En la actualidad el Grupo Tacaza comprende también una secuencia constituida por depósitos de ambiente lagunar y volcánicos de naturaleza lávica, piroclástica y aglomerádica.

Durante el cartografiado geológico se ha tratado de diferenciar las unidades mejor expuestas en el cuadrángulo de Velille siguiendo la nomenclatura de Dávila (1988), en el cuadrángulo de Cailloma. Así, en el área de trabajo el Grupo Tacaza está constituido en la base por una fase aglomerádica sobre la que yace otra lávica superior; ambas fases volcánicas están mayormente expuestas en el cuadrángulo de Velille y hacia el Este forman parte de la Cordillera de Laramani (hoja de Yauri) que tiene una orientación Noroeste-Sureste y pasa a la hoja de Ocuvi por la esquina suroeste de la hoja de Ayaviri.

3.2.7. Depósitos cuaternarios

3.2.7.1. Depósitos Glaciofluviales (Q-glf): Pleistoceno

Estos depósitos al igual que los aluviales están distribuidos en los cuatro cuadrángulos que comprende el estudio, formando amplias terrazas que se extienden en ambos flancos de los ríos principales, así se les observa en las hojas de: Yauri (ríos Cañipia, Pichigua, Apurímac, Salado, Ocururo y Pallpatamayo al sureste de la laguna Langui-Layo); Ayaviri (ríos Llallimayo, Sora, Ayaviri, Santa Rosa, Jorhuañi y Parina); y Velille (ríos Arenas, Ichucuña, Velille, Cangalle, Chillorolla, Huayllumayo).

La composición litológica de los Glaciofluviales es generalmente polimíctica, así en el área de Velille y Yauri están constituidos por clastos de rocas volcánicas, sedimentarias e ígneas en menor proporción, de tamaño muy variable y matriz granuda; mientras que en los cuadrángulos de Ayaviri y Azángaro predominan los clastos de areniscas, pizarras y cuarcitas generalmente de formas tabulares, subangulosas, con algunos clastos de rocas volcánicas e ígneas distribuidos en matriz limoarcillítica y arenosa. En todos los casos se encuentran cubiertos por una capa de suelo húmico de 0.50 a 1 m. de grosor.

Particularmente en la hoja de Ayaviri y esquina noroeste de la hoja de Azángaro, estos depósitos forman extensas planicies con suave inclinación hacia los ejes de drenaje.



Figura 3. 5. Deposito glaciofluvial al pie del cerro.

Fuente: cuadrángulo de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro

3.2.7.2. Depósitos Aluviales (Q-al): Holoceno

Están constituidos por la acumulación de materiales en el lecho de ríos y quebradas, presentan su mejor distribución a lo largo de los cursos más importantes (ríos Azángaro, Ichucaña, Salado, Santa Rosa, Crucero, etc.); así como en las quebradas principales. Consisten de materiales polimícticos de variado tamaño desde arcillas hasta gravas, moderadamente clasificados.

3.2.8. Rocas intrusivas

Tintaya

Las rocas ígneas de esta parte del área están representadas por cuerpos de diorita, granito y monzonita. A 5 Km. al Noreste de la mina Atalaya, aflora una roca de color gris a negro con hornablenda y feldespatos blancos, presenta textura holocristalina de grano grueso, cuarzo hipidiomórfico, hornablenda, biotita esparcida alotriomórficamente intersticial en plagioclasas mostrando una textura subofítica y plagioclasas con zoneamiento normal, los márgenes consisten de oligoclasa y su núcleo es una andesina básica, la hornablenda está relativamente alterada a clorita y calcita, la biotita es fresca, con minerales accesorios de zircón, granate y magnetita; la roca es un de granito cuarzoso de hornblenda y biotita.

Los afloramientos que se encuentran al Sur de la mina Tintaya presentan gradación de básicas a intermedias y están representados por diorita que es la más abundante, granodiorita y monzonita que aflora en el yacimiento de Tintaya. También se puede encontrar afloramientos muy pequeños de gabros que podrían constituir relictos del intrusivo inicialmente emplazado en el área; tanto la diorita como la monzonita están silicificados y muestran débil cloritización.

La monzonita expuesta en el yacimiento de Tintaya, es de color gris blanquecino, grano medio a grueso y en sus contactos muestra incremento de sílice, feldespatos argilizados, fenos de hornablenda hasta de 8 mm. y biotita anhedral débilmente alterada a clorita. Se observa también concentraciones de cuarzo de formas redondeadas con diámetros que alcanzan los 5 mm. y venillas que atraviesan la roca. Los cambios químicos que sufrió la roca huésped por efecto de éste intrusivo dieron lugar al desarrollo de un Skarn en el que se reconoce : fajas de granatita, de color marrón pardo amarillento y verde, de grano fino, medio, esporádicamente grueso y con óxidos de cobre (malaquita, crisocola, brocantita); caliza marmolizada, de color blanco amarillento, grano fino a medio, con bandeamientos paralelos a la estratificación, mineralización de pirita diseminada y óxidos de fierro y manganeso en las fracturas tiñendo a la roca; caliza recristalizada, de color gris azulado y grano fino y finalmente, silicato calcáreo, de color blanco y pardo amarillento a verde amarillento asociado con limonita-arcillosa, clorita, epidota y algunas veces teñido por los óxidos de cobre.

La monzonita aflorante en el prospecto de exploración de Coroccohuayco tiene textura porfirítica y presenta alteración hidrotermal, diseminación de pirita y algo de calcopirita; los productos de metasomatismo están representados por reemplazamientos selectivos en las calizas. En la esquina Noreste del cuadrángulo de Yauri se encuentra un cuerpo feldespático compuesto por feldespato alcalino, cuarzo, plagioclasas y biotita anhedrales; siguiendo unos kilómetros más al Oeste, al pie del cerro Cayarani (8392-277), la roca exhibe feldespato potásico, plagioclasas, cuarzo y presenta cloritización y sericitización; sus relaciones con las

rocas huésped no son observables porque sus contactos están cubiertos. Dos muestras tomadas al noreste de Soracota (8388-284) tienen las siguientes características: La primera de ellas color gris con tono rojizo, fenocristales subhedrales y venillas micrométricas de feldespato potásico. El estudio al microscopio muestra su textura porfirítica en matriz microgranular alotriomórfica; con minerales esenciales de feldespato potásico y cuarzo; minerales accesorios de plagioclasas, sericita, arcilla y opacos y minerales secundarios de cuarzo, sericita y óxidos.

La alteración está representada por sericitización y débil oxidación. Los feldespatos potásicos están microfracturados y rellenados por sericita. La roca se clasifica como granito feldespático alcalino de textura porfirítica. las relaciones estratigráficas con las secuencias envolventes no son muy claras puesto que casi siempre se encuentran depósitos aluviales y morrénicos que cubren los contactos.

Hacia el Este, en el cuadrángulo de Ayaviri, la roca plutónica ha intruido a volcánicos de la Formación Puca Puca. En el lado oriental de los cuadrángulos de Ayaviri y Azángaro los cuerpos ígneos se presentan a manera de pequeños afloramientos aislados de variada composición.

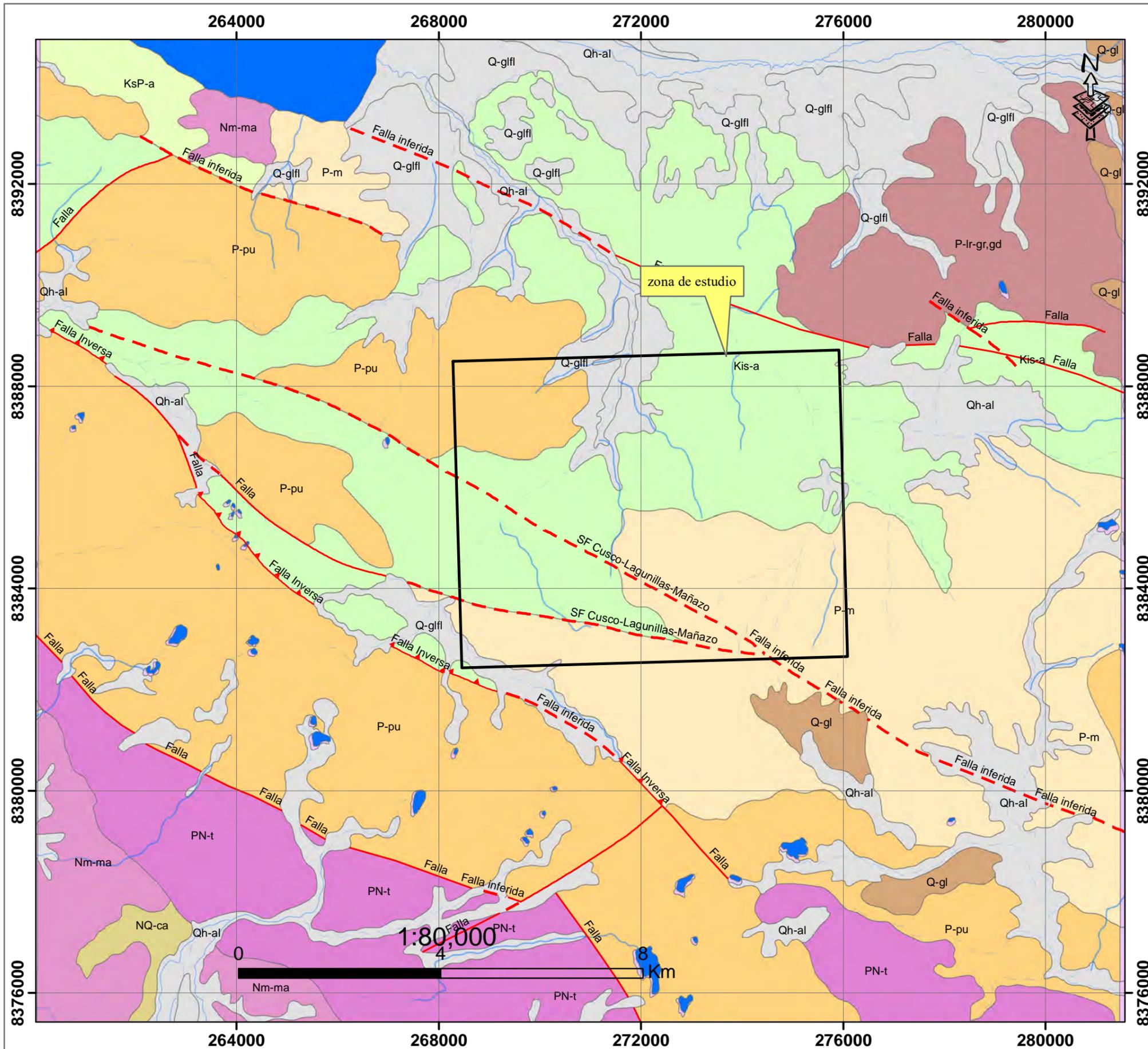
CUPI

Se encuentra al Norte del pueblo de Cupi, forma el cerro Coña en contacto fallado con las areniscas y conglomerados del Grupo Puno y en parte con la Formación Arcurquina. Gran parte del macizo está cubierto por depósitos Glaciofluviales. Presenta color gris a gris claro en muestra de mano y textura granular donde destacan fenocristales grises oscuros. Al microscopio se reconoce su textura granular hipidiomórfica con minerales esenciales de plagioclasas y piroxenos; los minerales accesorios son feldespato potásico, biotita, opacos, esfena, sericita, apatito, zircón, epidota y cloritas y como minerales secundarios sericita, cloritas, albita, carbonatos, arcillas y epidota.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD (MA)	UNIDADES Y LITOESTRATIGRÁFICAS	MORFOESTRUCTURAS VOLCÁNICAS	ROCAS INTRUSIVAS Y SUBVOLCÁNICAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	0.0017	Depósito aluvial Deposito glaciar. fluvial Depósito glaciar	Ch-al Q-gfl Q-gj	Gravas de diámetro variable subangulosas a subredondeadas envueltos en una matriz arenolimososa coluvial y de terraza Gravas y arenas en matriz limoarenosa, incluye depósito coluvial y de terraza Bloques, angulosos de rocas sedimentarias metamórficas y volcánicas de diámetro variable en matriz arenocálcica Tobas vitroclásticas de composición riolítica. No presenta estratificación definida	Shoshonita Opcc-sh Intrusivo Ccallochhua
		PLEISTOCENO	2.58	Formación Calasaya	NO-ca	NO-b-da-and Np-b-ctri Np-b-tb Np-b-and	Dacita, andesita Toba cristalofítica Toba cinerítica y lílica Lava andesítica
	NEÓGENO	PLIOCENO	5.33	Formación Ocoruro Grupo Maure Formación Ichocollo Grupo Tacaza	Np-oc Nm-ma Nm-ich PN-1	Conglomerados polimícticos de calizas, cuarcitas, areniscas, dioritas, englobados en matriz arenosa Tobas cristalofíticas de composición riolítica a dacítica, limoarcillitas, dolomitas. En la base conglomerados polimícticos y areniscas Brechas y aglomerados de naturaleza andesítica (500 m.) Lavas andesíticas, tobas lílicas y tobas cristalofíticas de composición riolítica a dacítica, tobas lílicas y conglomerados polimícticos	
		MIOCENO	23.03	Grupo Puno Formación Muñani	P-pu P-m	Conglomerados polimícticos con clastos de calizas, cuarcitas, areniscas rojas en matriz areniscosa intercalados con areniscas conglomeráticas (300 m.) Areniscas arcóicas y limoarcillitas marrón rojizas intercaladas con conglomerados polimícticos (clastos de calizas, cuarcitas, areniscas rojas) en matriz areniscosa (400 m.)	Monzonita P-cc-mz Diorita, granodiorita P-ct-digd Granito, granodiorita P-ll-grigd Monzogranito P-mgr
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	68	Formación Auzengate Formación Arcurquina	KsP-a Kis-a	Limoarcillitas y lodolitas marrón rojizas intercaladas con areniscas arcóicas (300 m.) Calizas micríticas, dolomitas intercaladas con calizas margosas, dolomitas margosas y dolomitas (30 m.)	
		INFERIOR	100.97	Formación Huaituasi	Hu-hu	Cuarzoarenitas y subarenitas gris blanquecinas, con intercalaciones de areniscas y limoarcillitas rojas (100 m.)	

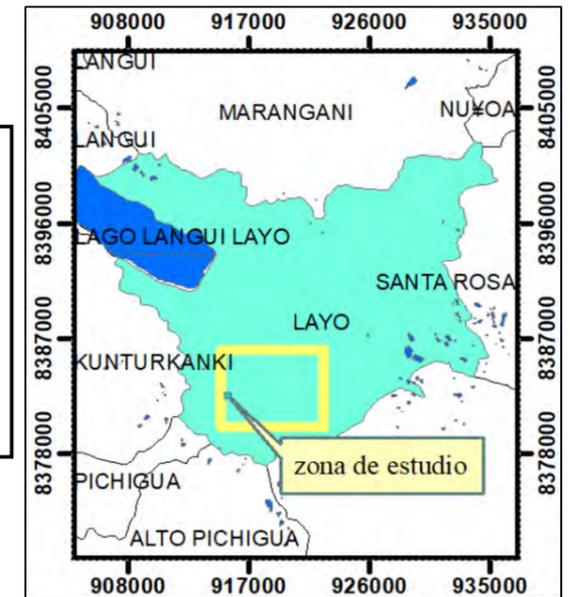
Figura 3. 6. Estratigrafía Regional del cuadrángulo de Yauri 30t actualizado. Tomado del INGEMMET actualizado.

MAPA GEOLOGICO REGIONAL



LEYENDA			
COD	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	DESCRIPCION	ROCAS INTRUSIVAS
	Qh-al	Depósito aluvial	Acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición.
	Q-gl	Depósito glaciar	Depósitos morrénicos, bloques angulosos rellenos con arcillas, limos y arenas.
	Q-gfl	Depósito glaciar, fluvial	Gravas, arenas en matriz limoarenosas. Arenas y materiales residuales no consolidados.
	NQ-ca	Formación Calasaya	Gravas y arenas mal seleccionadas en matriz arenolimos.
	Nm-ma	Grupo Maure	Limo litas laminadas tobaceas, tobas retrabajadas, areniscas tobaceas y conglomerados.
	PN-t	Grupo Tacaza	Flujos andesíticos, areniscas y limolitas gris violáceas, con conglomerados.
	P-pu	Grupo Puno	Conglomerados polimicticos, areniscas blancas y rojizas.
	P-m	Formación Muñani	Arenisca beige friable y limoarcillitas rojizas.
	KsP-a	Formación Auzangate	Arenisca cuarzosa con lodilitas rojizas laminadas en capas delgadas.
	Kis-a	Formación Arcurquina	Calizas masivas de color gris.
			P-Ir-gr,gd Granito, granodiorita

SIMBOLOGIA	
	Zona de Estudio
	Falla
	SF Cusco-Lagunillas-Mañazo
	falla inferida
	Rio Principal
	Rio Secundario
	Quebrada
	Quebrada seca
	Lagos



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
MAPA:	GEOLOGIA REGIONAL		
UBICACIÓN		SISTEMA DE COORDENADAS	
REGION: Cusco	PROVINCIA: Canas	PROYECCION: Universal Transversa Mercator(UTM)	ELIPSOIDE O DATUM HORIZONTAL: World godesic system 1984(WGS84)
DISTRITO: Layo	SECTOR: Callimuro	HUSO Y ZONA: 19S.SUR	
ASESOR: Dr. Rómulo Escobedo Zapana	ELABORADO POR: Br. Rosmary Maquerhua Mantilla Br. Anali Balvina Ccoya Yucre	FUENTE: Propia	
ESCALA DE IMPRESIÓN: A4	ESCALA DE TRABAJO: 1:80,000	FECHA: MAY.2023	CODIGO: MGR-01
			MAPA N°: 06

3.3. Geología local

Para reconocer la geología local se hizo mediante un mapeo geológico y el reconocimiento de la litología de las unidades en la zona de estudio y sus alrededores.

3.3.1. Formación Arcurquina (Kis-a)

Jenks (1948), en el cuadrángulo de Velille y Yauri se le encuentra distribuida en afloramientos dispersos localizados en la esquina Noroeste. La mayoría de sus afloramientos están formados por calizas gris azulinas de aspecto masivo con venillas entrecruzadas de calcita además están recristalizadas y marmolizadas con manchas verdes de óxido de cobre. En el cuadrángulo de Yauri se encuentra en las inmediaciones de Tintaya, Atalaya y Coroccohuayco con características similares del cuadrángulo de Velille.

En la zona de estudio se observa calizas bituminosas con un olor a fétido y color gris a gris oscuro con diferentes texturas y fósiles (Foto 3.1 y Foto 3.2). En la mayoría de los afloramientos las calizas se encuentran bien estratificadas y plegadas formando anticlinales y sinclinales producto del tectonismo, con una orientación NW-SE.

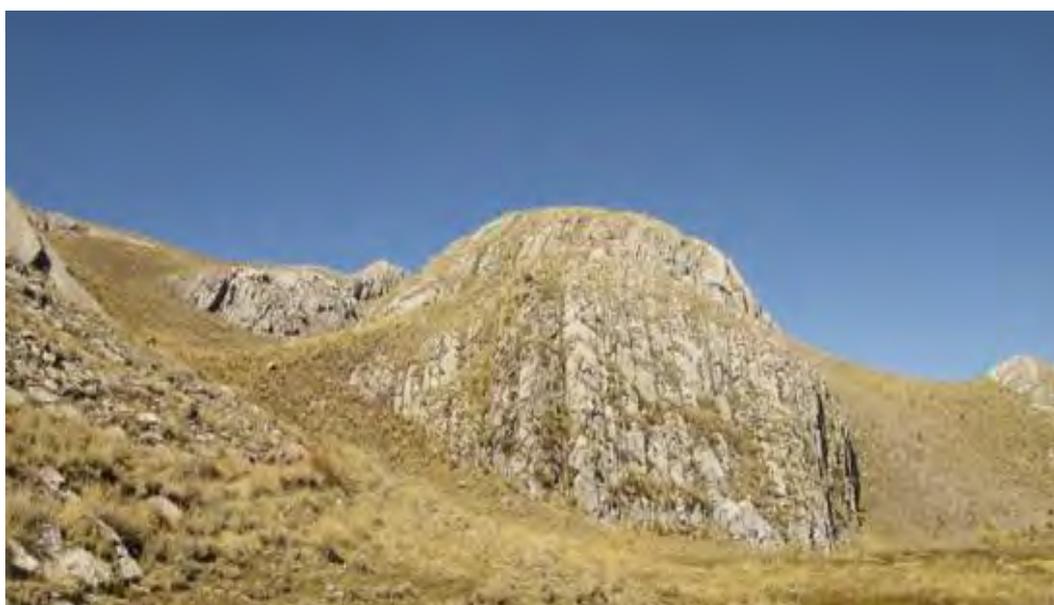


Foto 3. 1. Se observa calizas de la Formación Arcurquina bien estratificadas, plegadas y muy fracturadas.



Foto 3. 2. A: Calizas bituminosas con olor a fétido, B: Caliza gris oscuro con venillas entrecortadas de calcita.

Más adelante se desarrollará con más énfasis esta formación, haciendo un análisis macroscópico y microscópico (Dunham y Folk, 1962), levantamiento de columnas estratigráficas en la zona.

3.3.2. Grupo Puno (P-pu)

Esta unidad aflora en el sector de Callimuro en menor extensión, está en contacto con la Formación Arcurquina por la falla Callimuro y está constituida por conglomerados con clastos que van desde los 5 a 15 cm de diámetro, y una matriz compuesta de areniscas feldespáticas de color gris y gris rojizo y clastos de las calizas Arcurquina.



Foto 3. 3. Conglomerados del Grupo Puno con clastos de areniscas feldespáticas y calizas.



Foto 3. 4. Conglomerados del Grupo Puno con clastos de areniscas feldespáticas y calizas.

3.3.3. Depósitos cuaternarios

3.3.3.1. Depósitos coluviales (Q-co)

Estos depósitos se encuentran al pie de las geformas altas con clastos angulosos a redondeados, producto de la alteración y desprendimiento in situ de los macizos rocosos. En nuestra zona se presentan como materiales heterogéneos con bloques angulosos de caliza en una matriz de limos, arenas y arcillas (Foto 3.5), depositados en los cauces de los ríos existentes en la zona.



Foto 3. 5. Depósitos coluviales con bloques angulosos de calizas en una matriz de limos, arena y arcilla.

3.3.3.2. Depósitos aluviales (Q-al)

Estos depósitos se encuentran en la zona de estudio por presentar gravas y arenas bien redondeadas con matriz de limos y arcillas. Las gravas corresponden a una litología de las calizas de la Fm. Arcurquina.



Foto 3. 6. Depósitos aluviales cerca al río.

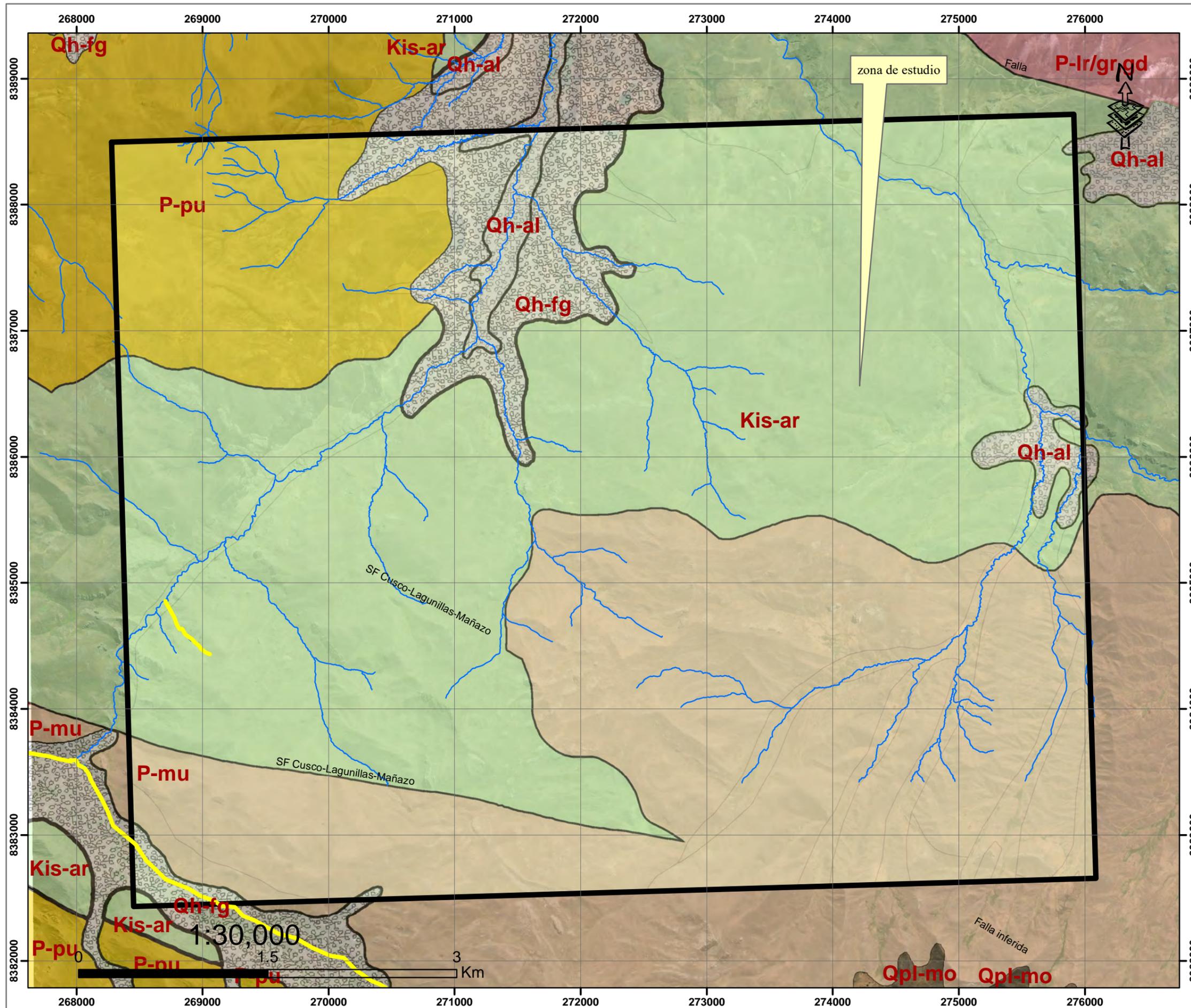
Tabla 3. 1

Unidades litoestratigráficas en la zona de estudio

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	DESCRIPCION LITOLOGICA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Coluvial Q-co	Material heterogéneo con bloques angulosos de calizas en una matriz de limos, arenas y arcilas
			Dep. Aluvial Q-co	Gravas y arenas bien redondeadas con matriz de limos y arcillas
	PALEOGENO	OLIGOCENO	Grupo Puno P-pu	Areniscas rojizas rosadas y conglomerados polimicticos
MESOZOICO	CRETACICO	INFERIOR	Fm. Arcurquina Ki-a	Calizas grises a gris oscuras resedimentadas con textura masiva con olor a fétido en algunos afloramientos

Fuente: Elaboración propia

MAPA GEOLOGICO LOCAL



SIMBOLOGIA

- drenages
- SF Cusco-Lagunillas-Mañazo
- Lagos



Afloramiento de las calizas de la formacion Arcuquina formando un anticlinal



Afloramiento de Depositos Cuaternarios (Aluviales), donde se observa los clastos de las calizas de la formacion Arcuquina.

LEYENDA			
COD	UNIDADES LIOTESTRATIGRAFICAS	DESCRIPCION	
	Deposito aluvial	Qh-al	Gravas de diametro variable subangulosos a subredondeados, envueltos en una matriz arenosa.
	Deposito glaciar, fluvial	Qh-fg	gravas y arenas matriz limoarenosa, incluye depositos coluvial y de terraza.
	Grupo Puno	P-pu	conglomerados polimicticos con clastos de caliza cuarcitas, areniscas rojas en matriz arenosa.
	Formacion Muñani	P-mu	areniscas arcasicas y limoarcillitas marron rojizas intercaladas con conglomerados polimicticos (clastos de calizas, cuarcitas y areniscas rojas).
	Formacion Arcuquina	kis-ar	calizas micriticas, dolomitas intercaladas con calizas margosas, dolomitas margosas y dolomitas.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DELCUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

MAPA: GEOMORFOLOGICO LOCAL	
UBICACION REGION: Cusco PROVINCIA: Canas DISTRITO: Layo SECTOR: Callimuro	SISTEMA DE COORDENADAS PROYECCION: Universal Transversa Mercator(UTM) ELIPSOIDE O DATUM HORIZONTAL: World godesic system 1984(WGS84) HUSO Y ZONA: 19S, SUR
ASESOR: Dr. Rómulo Escobedo Zapana	ELABORADO POR: Br. Rosmery Maquerhua Mantilla Br. Anali Balvina Ccoa Yucra
ESCALA DE IMPRESION: A4	ESCALA DE TRABAJO: 1:25000
FECHA: MAY.2023	CODIGO: MGL-01
MAPA N°: 05	FUENTE: Propia

CAPITULO IV

TECTONICA

4.1. Generalidades

Jolivet (1995), la cordillera de los Andes es clásicamente considerada como uno de los mejores ejemplos de cadena de montañas edificada a lo largo de un margen continental por procesos tectónicos ligados a la subducción de una placa oceánica, en un contexto aparentemente no colisional. En efecto, la cordillera de los Andes se extiende a lo largo de aproximadamente 8000 km del margen oeste de Sudamérica como resultado del esfuerzo compresional asociado a la subducción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana (Figura 4.1).

Las causas y mecanismos del acortamiento cortical en los Andes Centrales, ha sido explicado por Baby et al. (1997), refiriendo al Altiplano, como una compleja cuenca intramontaña neógena deformada por tectonismo extensional y compresional.

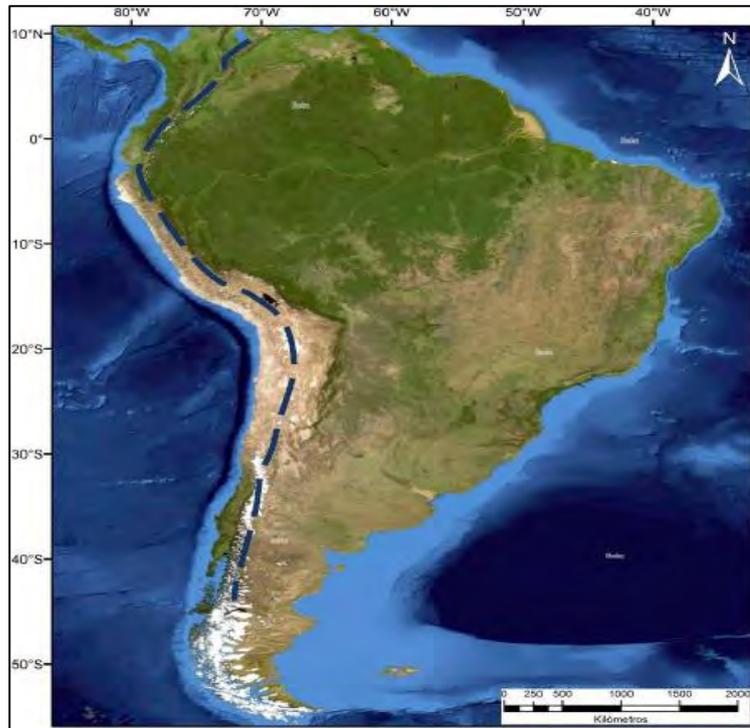


Figura 4. 1. Imagen satelital mostrando la orientación preferencial de la Cordillera de los Andes. Fuente: Teves (2014).

4.2. El Altiplano Peruano

El Altiplano es una gran cuenca intramontañosa de los Andes Centrales del Perú, de Bolivia y Argentina, situada entre las cordilleras Occidental y Oriental. Se extiende sobre 2.000 km de largo y 200 km de ancho aproximadamente, a una altitud variando de 3.700 a 4.600 metros. (Lavenu & Sebvier, 1991).

Dentro del Altiplano Peruano, el dominio predominante de una morfología corresponde a una Faja Plegada y Corrida (Teves, 2016) el cual se extiende hacia el Sur, al territorio boliviano, con el nombre de Faja Plegada de Huarina (Figura 4.2)



Figura 4. 2. Faja plegada del altiplano y faja plegada de Huarina.

Fuente: Teves (2014)

4.3. Fajas plegadas y corridas

La corteza terrestre se deforma para acomodarse al continuo movimiento de placas que sucede en el globo terrestre. Es así que las rocas son sometidas tanto a grandes esfuerzos compresivos, como a relajamientos y extensiones importantes (Teves, 2016). Las fajas plegadas y corridas (fold and thrust belts) se vinculan a los primeros y se desarrollan principalmente en los márgenes convergentes de placas, esto es en zonas de subducción tipo andina o en zonas de colisión continental: aunque también se registran en menor proporción en márgenes pasivos (Figura 4.2). Las estructuras más características de dichas fajas son los pliegues, las fallas inversas y corrimientos (Cristallini, 1998).

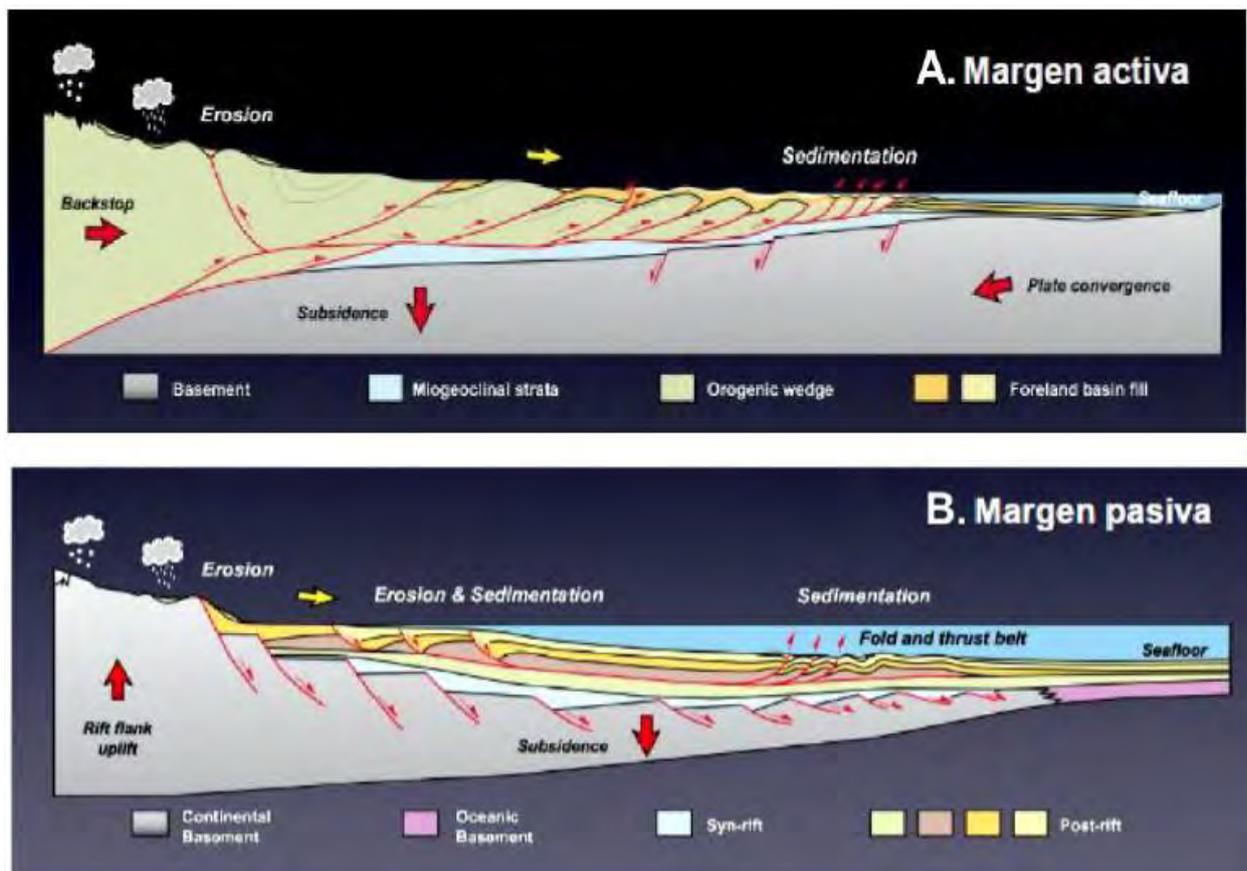


Figura 4. 3. Esquema de la morfología de las Fajas Plegadas y Corridas, tanto en márgenes activos (A) como en márgenes pasivos (B).

Fuente: Witt (2011).

La clasificación de los estilos estructurales de las FPC queda definida a partir de los niveles involucrados en la deformación, definiéndose así dos modelos distintos, tectónica de piel delgada y tectónica de piel gruesa. (Rodgers, 1971; Burg et al.2011).

La tectónica de piel delgada (Thin-skinned tectonics) es aquella en la que no se involucra el basamento en la deformación y el movimiento transmitido es a lo largo de un nivel de despegue basal usualmente relacionado a evaporitas, lutitas o sedimentos que están sometidos a altas presiones. Los niveles basales de despegue de este grupo en general no exceden los 7-8 km de profundidad. En contraste, la tectónica de piel gruesa (Thick-skinned tectonics), asociado a fallas inversas con alto ángulo, involucra rocas de basamento, con un movimiento usualmente transmitido a lo largo de un nivel de despegue crustal (Figura 4.4) (Cristallini, 1998; Burg et al. 2011).

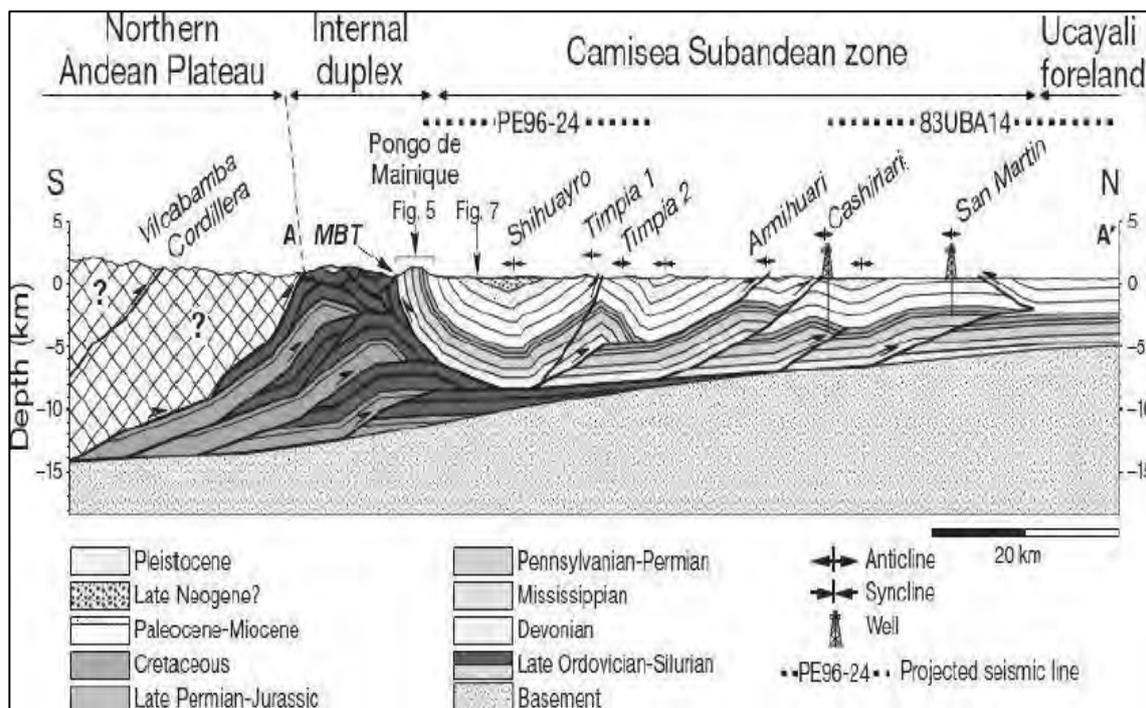


Figura 4. 4. Desarrollo de una sección estructural considerando la deformación existente asociada a una tectónica de piel delgada.

Fuente: Espurt et al. (2011).

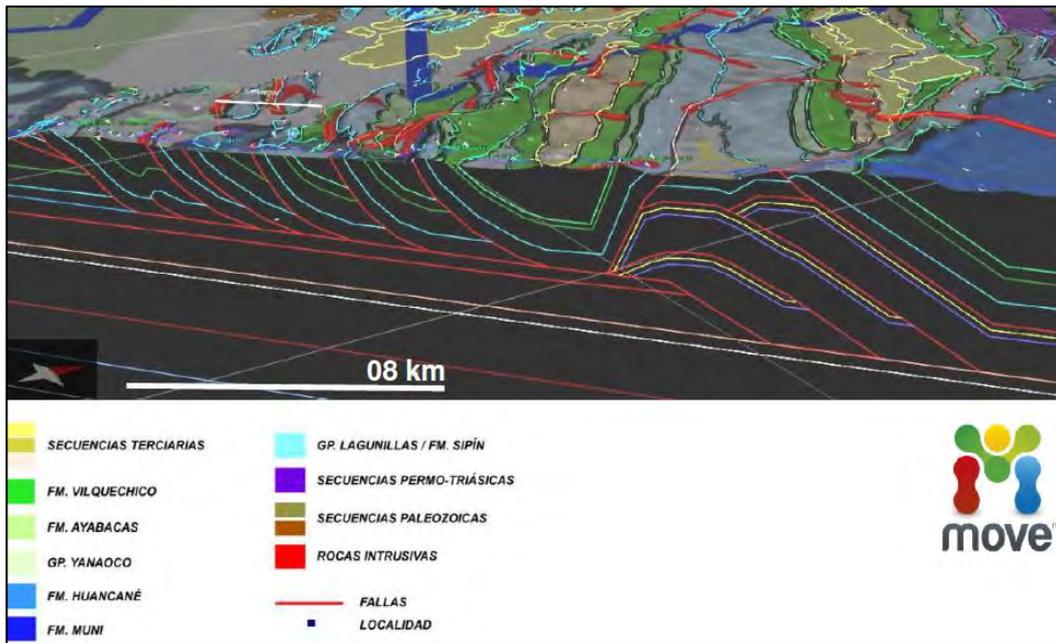


Figura 4. 5. Sección estructural el cual muestra la Faja plegada y corrida del Altiplano.

Fuente: Teves (2016).

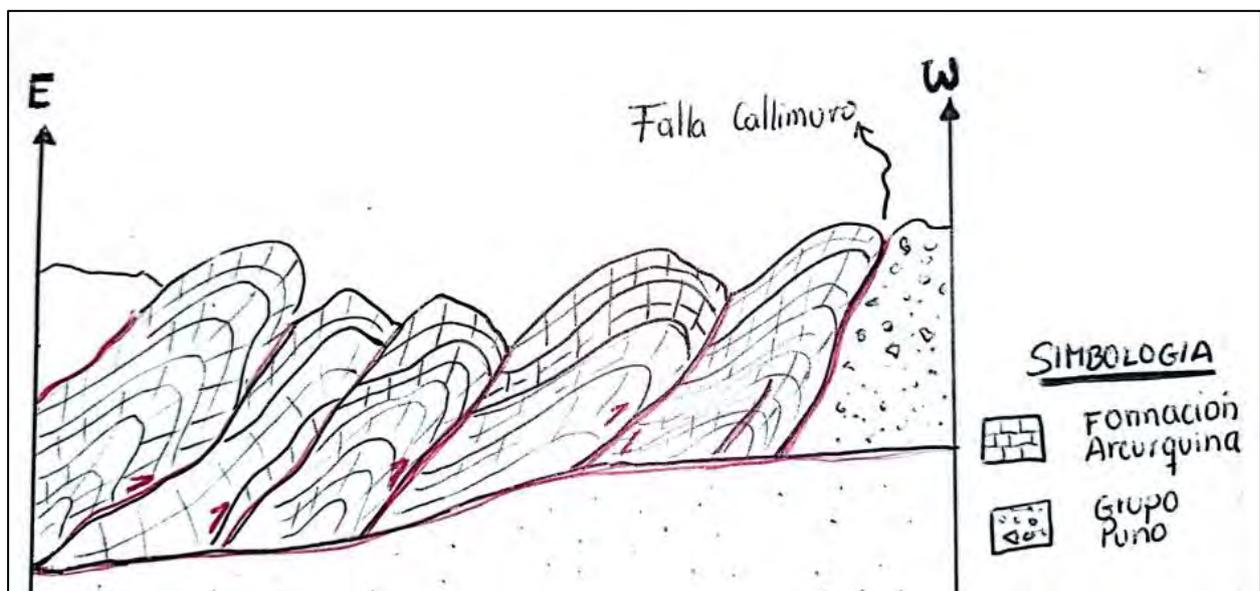


Figura 4. 6. Sección estructural de la zona de Callimuro, se observa como fajas plegadas y corridas a la Formación Arcurquina.

Fuente: Elaboración propia.

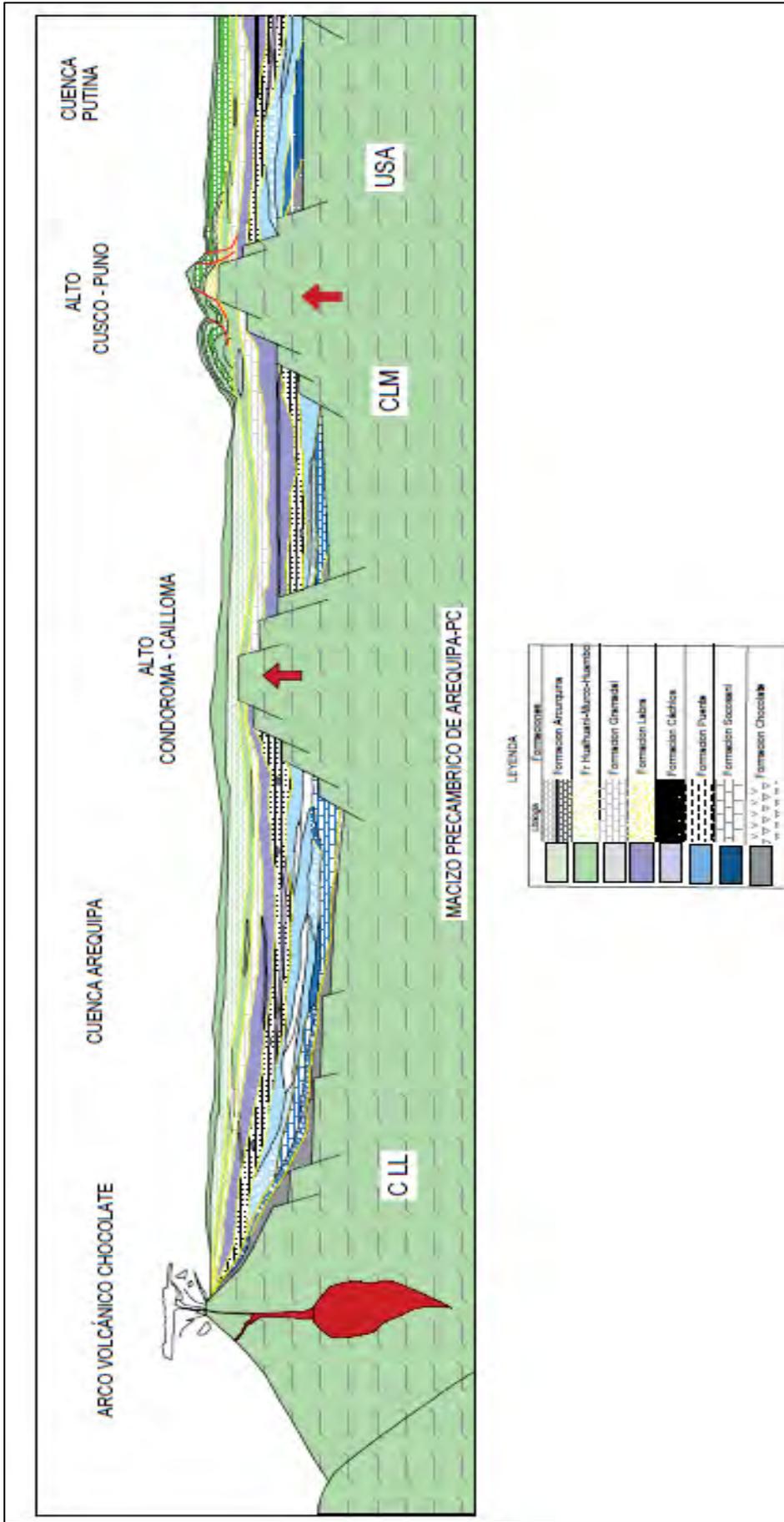


Figura 4. 7. Formación Arcuquina depositada durante el Albiano- Turoniano en la cuenca de Arequipa, alto Condoroma-Caylloma y alto Cusco-Puno con un sistema de fajas plegadas y corridas.

4.4. Dominios y estilos estructurales en el Altiplano

Teves (2016), Altiplano desde el punto de vista científico, ha sido y será una clave importante para la exploración de yacimientos de minerales e hidrocarburos. La falla Urcos-Sicuani-Ayaviri divide al Altiplano del sur del Perú en dos Dominios Tectónicos: Dominio del Altiplano Occidental y Dominio del Altiplano Oriental (Figura 4.5), cada dominio con estilos estructurales diferentes (Teves, 2016).

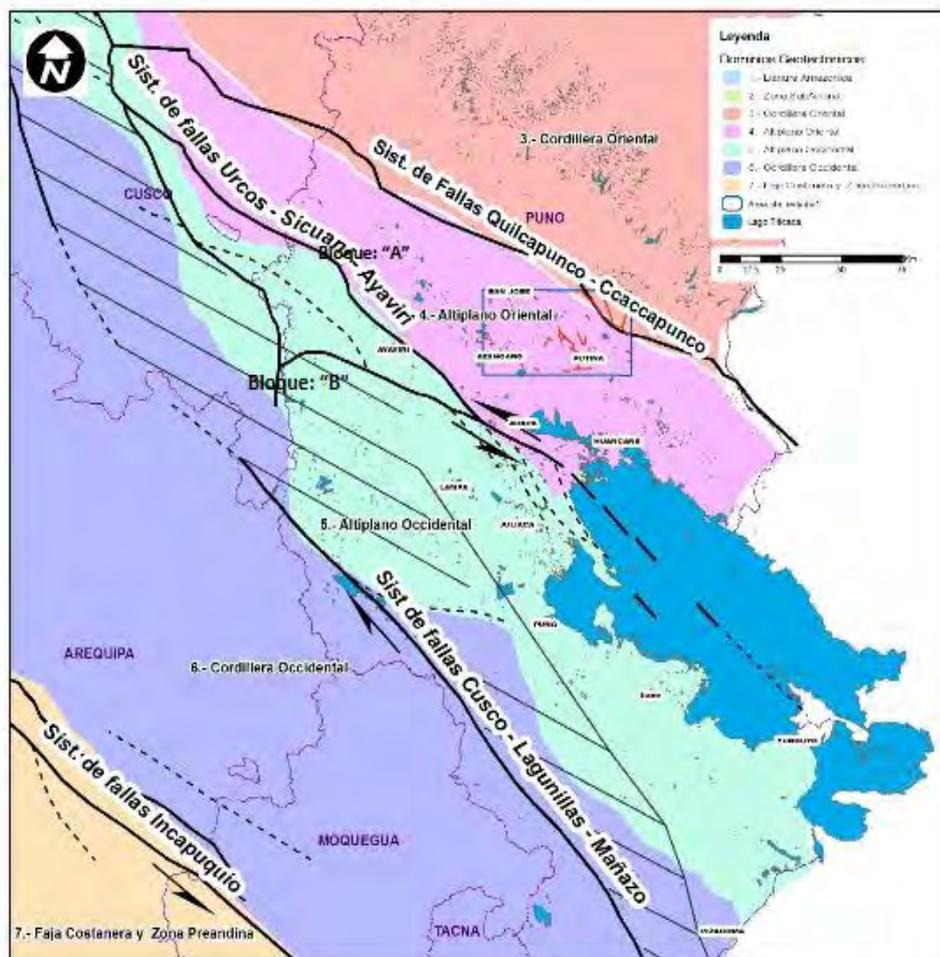


Figura 4. 8. Mapa de dominio geotectónico y sistema de fallas regionales del Altiplano Sur Peruano.

Fuente: Carlier (2005).

4.4.1. Dominio Altiplano Oriental

Está limitada al Oeste por el sistema de fallas NW-SE Urcos-Sicuani-Ayaviri y al este por el sistema de fallas de la Cordillera Real. Estos dos grandes sistemas de fallas definen un bloque litosférico infrayacido por un manto de harzburgita metasomatisado de edad paleoproterozoico a arqueana (Carlier et al. 2005) diferente al terreno de Arequipa.

Corresponde a la cuenca Putina o cuenca oriental Sur peruana, situada en el borde sur de la Cordillera Oriental, que presentan un substrato con rocas del Paleozoico inferior. Esta cuenca ha sido rellenada durante el mesoceno y muestra una tectónica de faja corrida y plegada convergencia suroeste desarrollada en el Cenozoico. Aquí se ha desarrollado el arco interno cenozoico (Clark et al. 1984) donde se tiene un magmatismo potásico a ultrapotásico representado por las shoshonitas, lamproitas y minetes del Oligo-Mioceno-Plioceno (Carlier et al. 2005).

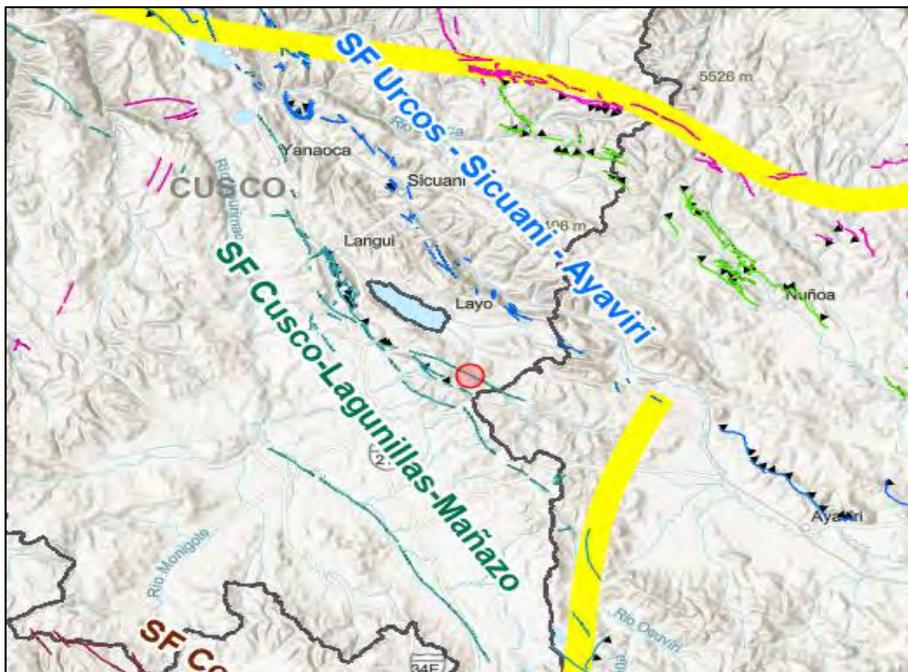


Figura 4. 9. Dominios estructurales regionales del Altiplano.
Fuente: INGEMMET.

4.4.2. Dominio Altiplano Occidental

El Dominio del Altiplano Occidental está limitado al oeste y sureste por el sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo, la falla Puca Puca y el sistema de fallas Langui-Layo-Acomayo. Estas fallas tienen dirección NO-SE con cambios de direcciones a E-O y buzan al SO. Al noreste está limitado por el sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri, que es el principal sistema de fallas del Altiplano, ya que lo divide en Altiplano Occidental y Altiplano Oriental. Este sistema de fallas, corresponde a fallas profundas que dividen dos tipos de mantos determinado geoquímicamente como: manto lherzolítico hacia el oeste y manto hartzburgítico hacia el este (Carlier et al. 2005).

En el Dominio del Altiplano Occidental se encuentran estructuras romboédricas. En las estructuras de Lampa y Sicuani, sobre el Paleozoico inferior, se encuentran secuencias del Carbonífero al Terciario. Mientras que en las de Ayaviri, Cabanillas y probablemente la de Cusco, sobre el Paleozoico inferior, se encuentran directamente las secuencias del Cretácico medio al Terciario. Los lugares donde se encuentran preservados los grupos Ambo y/o Tarma-Copacabana, sugieren que durante el Pérmico-Cretácico han existido grábenes o zonas subsidentes. En cambio, en lugares donde el Cretácico medio-Terciario se encuentra directamente sobre el Paleozoico inferior sugiere que encontraban horts o altos estructurales. En consecuencia, durante el Pérmico al Cretácico el Altiplano Occidental estuvo conformado por grábenes y horts controlados por fallas normales. Luego, desde el Cretácico superior, estas fallas se invierten y sobre los horts se originan cuencas continentales terciarias. Por ejemplo, en la estructura romboédrica de Ayaviri (limitado al noreste por el sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri y al sureste por la falla Pasani. las secuencias de las formaciones Ayaviri (Grupo Puno) y Tinajani se encuentran sobre rocas del Paleozoico inferior (Flores y Rodríguez, 1999).

4.5. Alto Estructural Cusco - Puno o Altiplano

Definimos como alto estructural o Umbral Cusco-Puno a un estrecho corredor estructural de algunos kilómetros de ancho que se extiende de Sicuani a Urubamba y de Limatambo a Curahuasi. Estos dos segmentos son aparentemente desplazados por una estructura antigua denominada falla de Patacanchay Tamburco Carlotto (1998); Carlotto et al. (2006). En el sector de Sicuani el umbral separa el Altiplano Occidental del Altiplano Oriental o cuenca Putina, en tanto en Cusco, separa el Altiplano Occidental del Borde Sur Oeste de la Cordillera Oriental, a través de la falla Urcos-Sicuani-Ayaviri. En el sector Limatambo-Curahuasi, separa la Cordillera Occidental al sur y la Cordillera Oriental al Norte, mediante el sistema de fallas Abancay-Limatambo-Zurite. Paleogeográficamente, corresponde a una zona débilmente subsidente durante el Mesozoico y por lo tanto con sedimentación reducida.

El substrato, constituido por el Paleozoico inferior, está caracterizado por la presencia de pizarras y cuarcitas devonianas de la Formación Cabanillas.

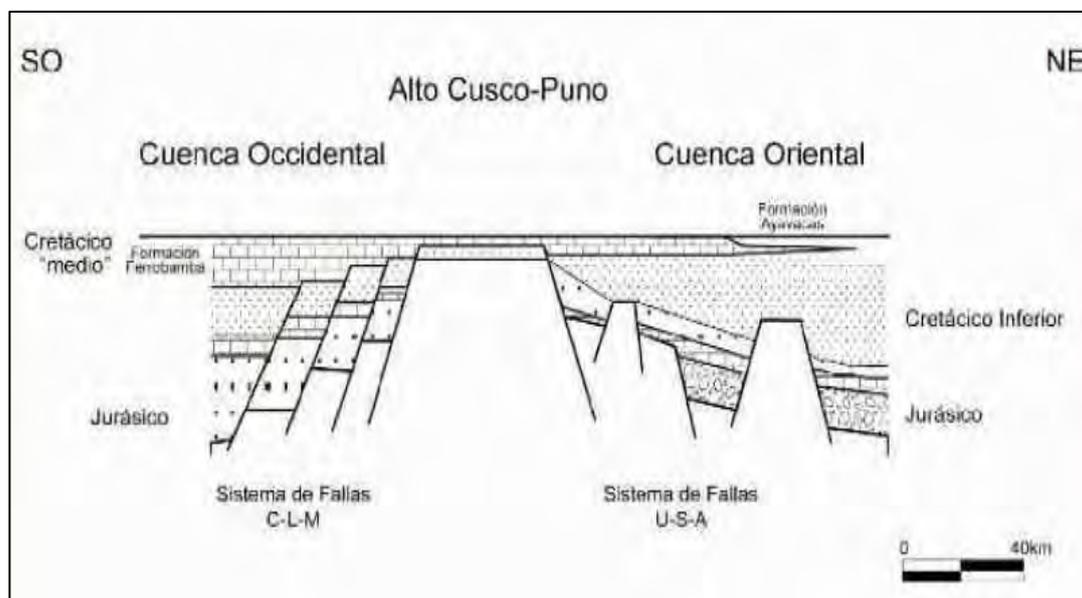


Figura 4. 10. Sección paleogeográfica para el mesozoico con los límites de las cuencas y los sistemas de fallas.

Fuente: Carlotto (1998).

Se define también un umbral Cusco - Puno. Que incluye al Altiplano Occidental o Bloque Cusco-Sicuni, donde la serie mesozoica es igualmente reducida y caracterizada por facies areno-pelíticas principalmente continentales. Este conjunto de altos constituye en realidad, un mosaico de bloques pequeños de dirección NO-SE, delimitados por antiguas fallas que jugaron como transcurrentes o inversas, al menos durante el Cenozoico. Estudios recientes indican que estos bloques serían el resultado de acreciones proterozoicas Carlier et al. (2005-2006); Carlotto et al. (2006).

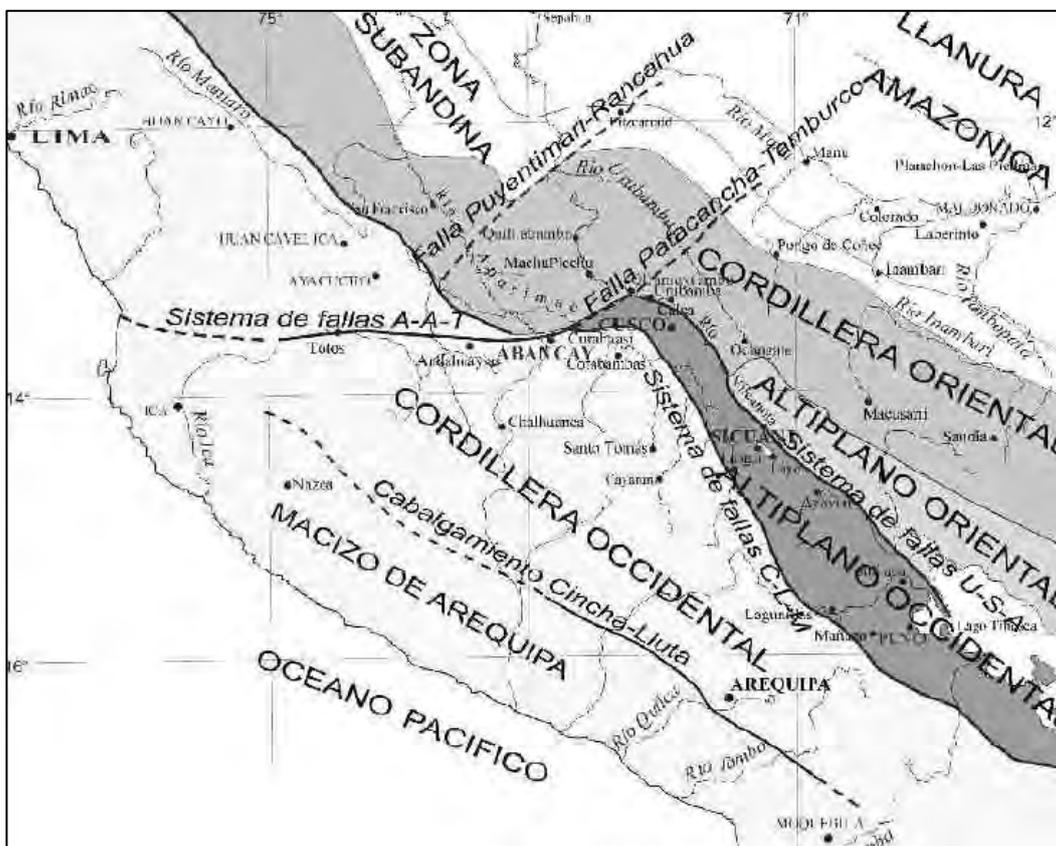


Figura 4. 11. Dominios morfoestructurales del sur del Perú mostrando los principales sistemas de fallas: C-L-M: Cusco-Lagunillas-Mañazo, U-S-A: Urcos-Sicuni-Ayaviri.

Fuente: Carlotto (1998).

4.6. Estructuras geológicas locales

4.6.1. Falla Langui Layo

La falla Langui-Layo fue descrita por Sébrier et al. (1985), como una estructura ubicada al este de la laguna de Langui-Layo. El trazo de falla afecta Con movimientos de tipo normal, dos terrazas aluviales y depósitos coluviales provenientes de cerros adyacentes a los poblados de Collca y Ccallya. Esto nos permite considerar actividad de tipo normal durante el Cuaternario o gran parte de el.



Foto 4. 1. Segmento norte de la falla Langui-Layo. Se puede observar la buena conservación del escarpe de falla, que se encuentra afectando depósitos cuaternarios. La dirección de este segmento es aproximadamente Este-Oeste. Foto tomada hacia el norte.

Fuente: Benavente et al. (2013).



Foto 4. 2. Vista de la falla Langui layo

Fuente: website <https://www.facebook.com/947327118679416/photos/falla-activa-langui-layo-en-el-departamento-del-cusco>.

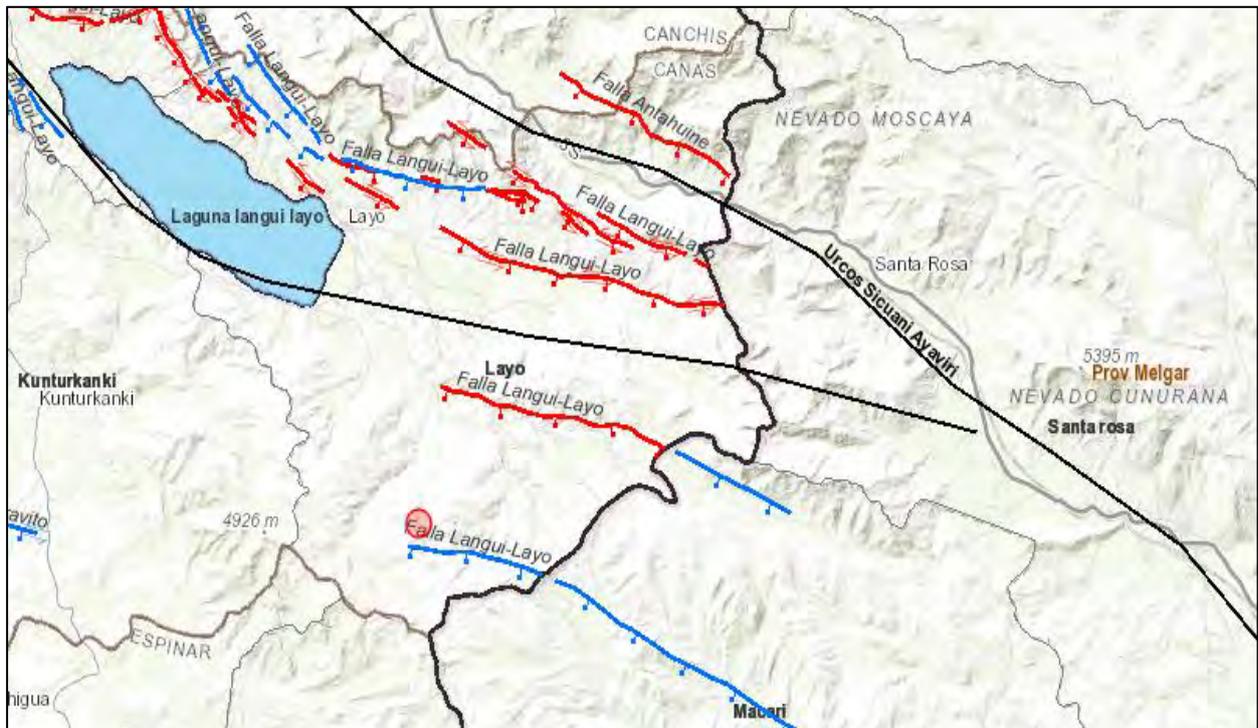


Figura 4. 12. Vista de la falla Langui- Layo, en la zona de estudio.

Fuente: INGEMMET.

4.6.2. Falla Callimuro

En la zona de estudio se identificó a la falla Callimuro, mediante un cartografiado estructural el cual tiene una dirección andina NW-SE poniendo en contacto la formación Arcurquina con el Grupo Puno.



Foto 4. 3. Falla Callimuro poniendo en contacto la Formación Arcurquina con el Grupo Puno.

CAPITULO V

DESARROLLO DE LA LITOESTRATIGRAFIA

5.1. Generalidades

La litoestratigrafía fue definida por varias jornadas realizadas a la zona de trabajo en la cual se hicieron cartografiado de los afloramientos, levantamiento de columnas estratigráficas para diferenciar las secuencias de la Formación Arcurquina, recolección de muestras, análisis complementario (macroscópico y microscópico).

5.2. Descripción de la Formación Arcurquina

La Formación Arcurquina es correlacionable con la Formación Ayabacas Carlotto et al. (2006), describiendo así a esta última Formación como el resultado de deslizamientos submarinos de gran amplitud (megabrecha) Callot et al. (2013). Su génesis fue explicada de manera muy diferente: fallamiento de bloques y erosión intensa (Heim, 1947), tectónica con pliegues y cabalgamientos (Newell, 1949; Chanove et al. 1969).

Las calizas Ayabacas muestran evidencias de deslizamientos sinsedimentarios y ahora puesto en evidencia en la Formación Ferrobamba. Es decir, movimientos tectónicos en el Cretácico medio originaron inestabilidades que a su vez produjeron deslizamientos sinsedimentarios en el alto Cusco-Puno y en el borde NE de la Cuenca Occidental Carlotto et al. (2006).

En nuestra zona de estudio se observan grandes afloramientos de la Formación Arcurquina, la mayoría de ellas cubiertas por cobertura vegetal, no pudiéndose identificar el contacto con otras formaciones, al igual que la Formación Ayabacas se presentan deslizamientos submarinos, plegamientos con fracturamiento intenso.



Foto 5. 1. Calizas altamente fracturadas (buena porosidad) y caótica producto de la erosión.

Reconociendo macroscópicamente se observó de color gris a gris oscuras con textura masiva generalmente con venillas de calcita (Foto 5.1), en algunos de los afloramientos se presenta calizas con bastantes pequeños surcos producto del agua (Foto 5.2).



Foto 5. 2. Calizas con textura masiva con venillas de calcita.



Foto 5. 3. Calizas de la Formación Arcurquina con surcos paralelos producto de la disolución de las rocas carbonatadas por el interperismo químico.

Al cartografiar las calizas Arcurquina la gran parte se encuentran estratificadas, fracturadas y muy plegadas formando anticlinales y sinclinales producto del tectonismo (Foto 5.3). Cabe recalcar que la mayoría de los afloramientos se encuentran cubiertas por cobertura vegetal y no son accesibles para una buena interpretación y levantamiento de columnas estratigráficas.



Foto 5. 4. Calizas de la Formación Arcurquina formando un sinclinal producto del tectonismo.



Foto 5. 5. Afloramientos de la Formación Arcurquina cubiertas por cobertura vegetal.

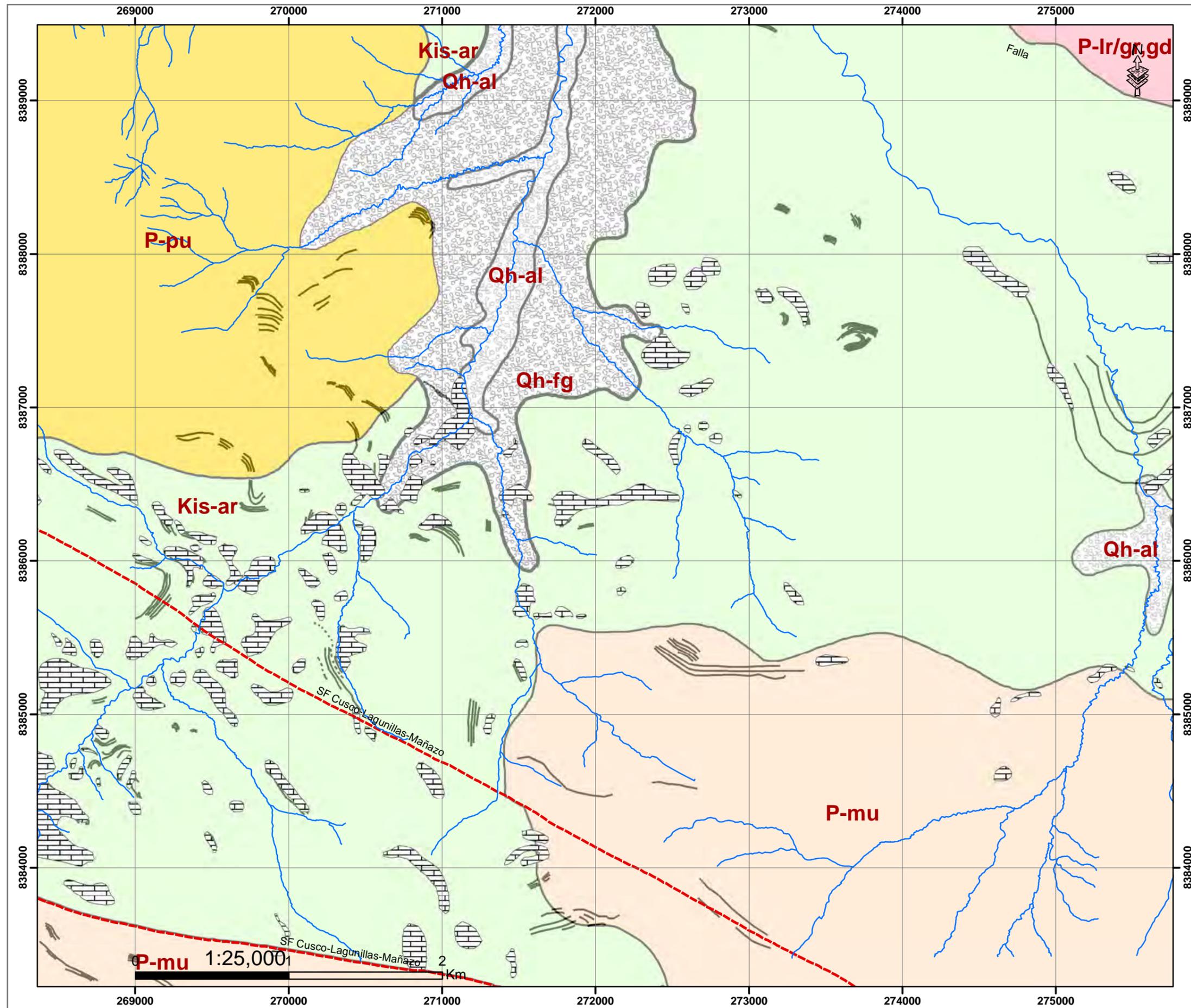
En la zona de estudio se hizo un muestreo de los afloramientos más grandes de la Formación Arcurquina para su posterior análisis macroscópico, para describir mejor las litofacies de la Formación Arcurquina.

En algunos afloramientos no se ha podido detallar o complementar con el análisis macroscópico, para lo cual se han tomado muestras para su posterior descripción petrográfica microscópica.

5.3. Descripción petrográfica macroscópica

La Formación Arcurquina litoestratigráficamente se ha dividido en miembro A, B y C los cuales están formados principalmente por calizas bituminosas wackestone, mudstone, calizas brechadas y calizas margosas en pequeños paquetes, de las cuales se obtuvieron muestras representativas las que se describen a continuación haciendo uso de las clasificaciones de (Dunham, 1962) y (Adams & Mackenzie, 1997).

MAPA DE AFLORAMIENTOS DE LA FORMACION ARCURQUINA

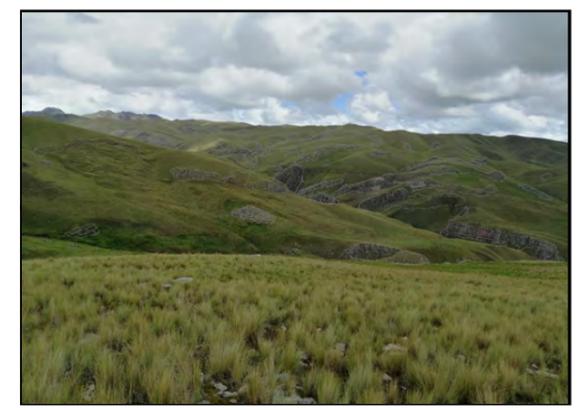


SIMBOLOGIA

- drenages
- SF Cusco-Lagunillas-Mañazo
- Lagos
- Mapeo_Calizas
- Aliniacion



Afloramiento de las calizas de la formación Arcurquina



Mapeo de las calizas de la formación Arcurquina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
MAPA: MAPA DE AFLORAMIENTOS DE LA FORMACION ARCURQUINA		
UBICACIÓN REGION: Cusco PROVINCIA: Canas DISTRITO: Layo SECTOR: Callimuro		SISTEMA DE COORDENADAS PROYECCION: Universal Transversa Mercator (UTM) ELIPSOIDE O DATUM HORIZONTAL: World geodesic system 1984 (WGS84) HUSO Y ZONA: 19S SUR
ASESOR: Dr. Rómulo Escobedo Zapana	ELABORADO POR: Br. Rosmery Maquerhua Mantilla Br. Anali Balvina Ccoayucra	FUENTE: Propia
ESCALA DE IMPRESION: A4	ESCALA DE TRABAJO: 1:25,000	FECHA: MAY. 2023
	CODIGO: MAFA-01	MAPA N°: 08

5.3.1. Muestra CA-01

Coordenadas: E: 272284; N: 8387671.

Textura: Microcristalino con numerosas venillas irregulares de calcita y pirita diseminada limonitizada y algunas fisuras rellenas con calcita con espesor 1.5 mm.

Color: gris claro verdoso

Tamaño de grano: Microcristalino (fino)

Composición Mineralógica

- **Minerales principales:** calcita (CaC)
- **Minerales accesorios:** dolomita, pirita fina (Py)

OTROS

- Grado de fracturamiento: moderado
- Alteración: Py a OxFe (limonita)
- Dureza: 4
- Reacción al Hcl: fuerte



Foto 5. 6. Muestra con código CA-01: se observa una caliza bituminosa con venillas de calcita

5.3.2. Muestra CA-02

Coordenadas: E: 272748; N: 8386797

Textura: Microcristalino con numerosas venillas irregulares de calcita blanca con más o menos cristales de hasta 2 mm, algunas con fracturas rellenas con óxidos de Fe (Hematita-arcilla).

Color: gris oscuro y amarillento verdoso en superficie intemperada.

Tamaño de grano: Microcristalino(fino)

Composición mineralógica:

- **Minerales principales:** calcita (CaC)
- **Minerales accesorios:** dolomita, pirita (Py)

Otros

- Grado de fracturamiento: moderado
- Alteración: Py a hematita
- Dureza: 4
- Reacción al Hcl: fuerte



Foto 5. 7. Muestra con código CA-02: caliza bituminosa con numerosas venillas irregulares de calcita blanca con más o menos cristales de hasta 2 mm.

5.3.3. Muestra CA-03

Coordenadas: E: 271607; N: 8385642

Textura: Microcristalino con fracturas rellenas con calcita cristalizada y en los contornos con hematita. Tiene una estructura vesicular por microgrietas de disolución de la calcita en las proximidades de las venillas de la calcita.

Color: gris oscuro y verdoso amarillento en superficie intemperada.

Tamaño de grano: Microcristalino(fino)

Composición Mineralógica:

- **Minerales principales:** calcita (CaC)
- **Minerales accesorios:** dolomita, Py

OTROS

- **Grado de fracturamiento:** moderado
- **Alteración:** Py a hematita
- **Dureza:** 4
- **Reacción al Hcl:** fuerte



Foto 5. 8. Muestra con código CA-03: caliza con fracturas rellenas con calcita cristalizada y en los contornos con hematita.

5.3.4. Muestra CA -04

Coordenadas: E: 270651; N: 8386432

Textura: Microcristalino con pequeñas fisuras rellenas con hematita con espesor de menores a 0.5 mm e inclusiones de calcita con espesor de 2 mm.

Color: gris oscuro verdoso

Tamaño de grano: Microcristalino(fino)

Composición Mineralógica

- **Minerales principales:** calcita (CaC)
- **Minerales accesorios:** dolomita, Py

Otros

- **Grado de fracturamiento:** moderado
- **Alteración:** Py a hematita
- **Dureza:** 4
- **Reacción al Hcl:** fuerte



Foto 5. 9. Muestra con código CA-04: caliza con pequeñas fisuras rellenas con hematita.

5.3.5. Muestra CA-05

Textura: Microcristalino con venillas subparalelas de calcita con espesor 0.2-0.5 mm con grietas de disolución rellenas de limonita con espesor de 1mm y calcita con cristales de 1mm.

Color: gris oscuro verdoso

Tamaño de grano: Microcristalino(fino)

Composición mineralógica

- **Minerales principales:** calcita (CaC)
- **Minerales accesorios:** dolomita, pirita (Py)

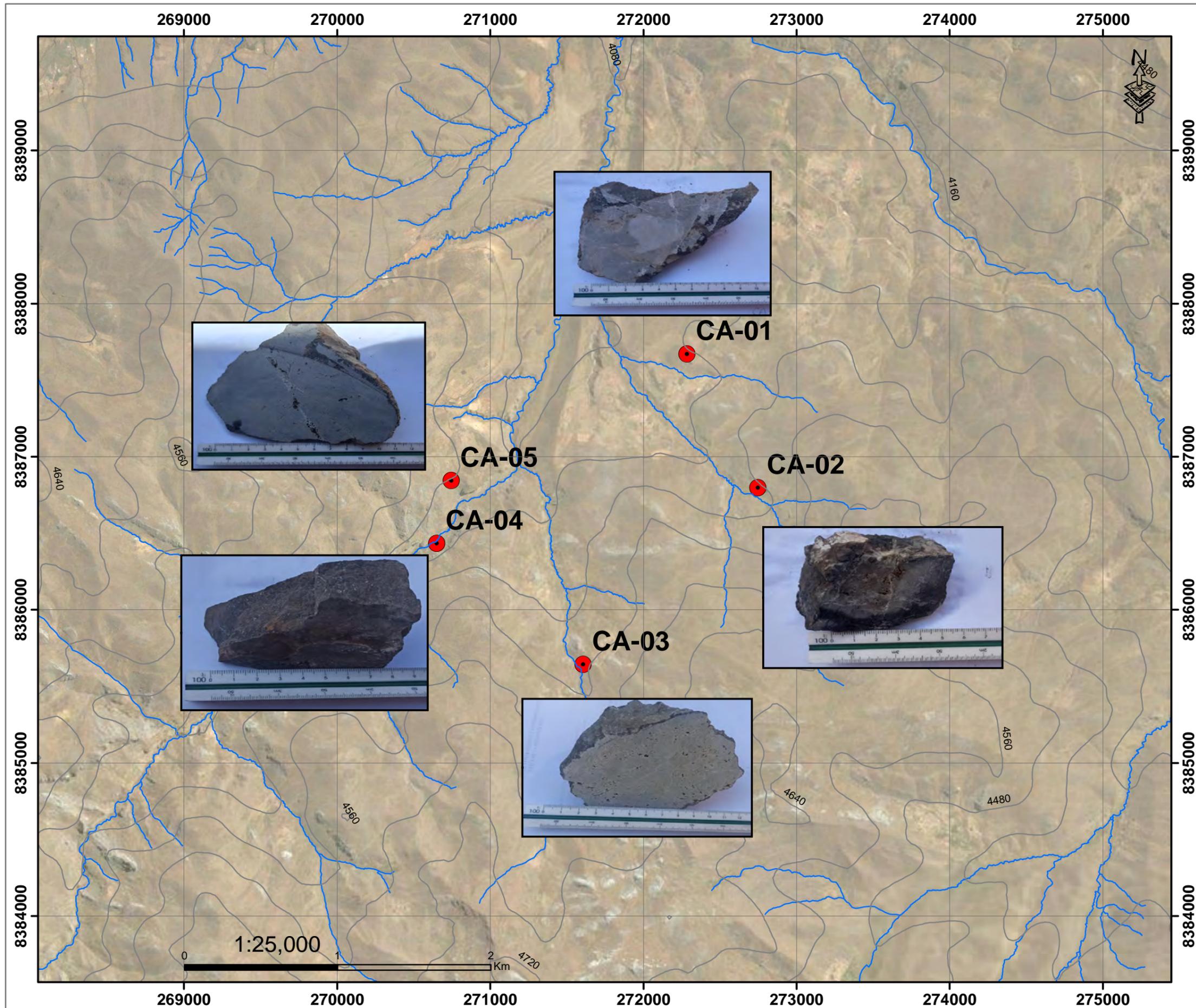
Otros

- **Grado de fracturamiento:** moderado
- **Alteración:** Py a hematita
- **Dureza:** 4
- **Reacción al Hcl:** fuerte



Foto 5. 10. Muestra con código CA-05, con venillas subparalelas de calcita con espesor 0.2-0.5 mm.

MAPA DE MUESTREO DE LAS CALIZAS DE LA FORMACION ARCURQUINA



ESTE	NORTE	MUESTRAS
272284.00	8387671.00	CA-01
272748.00	8386797.00	CA-02
271607.00	8385642.00	CA-03
270651.00	8386432.00	CA-04
270746.00	8386843.00	CA-05

SIMBOLOGIA

- Curvas_nivel 100 m
- drenages
- Muestras representativas

MAPA DE MUESTREO DE LAS CALIZAS DE LA FORMACION ARCURQUINA		
UBICACIÓN		
REGION: Cusco PROVINCIA: Canas DISTRITO: Layo SECTOR: Callimuro		
SISTEMA DE COORDENADAS		
PROYECCION: Universal Transversa Mercator(UTM) ELIPSOIDE O DATUM HORIZONTAL: World geodetic system 1984(WGS84) HUSO Y ZONA: 19S-SUR		
ASESOR: Dr. Rómulo Escobedo Zapana	ELABORADO POR: Br. Rosmery Maquerhua Mantilla Br. Anali Balvina Ccoo Yucra	FUENTE: Propia
ESCALA DE IMPRESION: A4	ESCALA DE TRABAJO: 1:25,000	FECHA: MAY.2023
	CODIGO: MIFA-01	MAPA N°: 09

5.4. Clasificación de las muestras (Dunham y Folk, 1962)

Para la descripción macroscópica se utilizó la clasificación de Dunham (1962), para lo cual se describió cinco muestras y para la descripción microscópica se utilizó la clasificación de Folk (1962), para lo cual se analizó tres muestras representativas.

Tabla 5. 1. Muestra con código CA-01, según la clasificación Dunham y Folk (1962).

Nº muestra	CA-01	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE	
	272284	8387671	
	CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002		
	Según la clasificación de folk es una Biomicrita		
	CLASIFICACIÓN DE DUNHAM		
Caliza wackestone de color gris claro verdoso con fósiles de bivalvos, foraminíferos, oolitos, corales y algas.			

Más de 2/3 de matriz micrítica				Esparita y micrita en proporciones similares	Más de 2/3 de cemento esparítico		
0 - 1% de aloquímicos	1 - 10% de aloquímicos	10 - 50% de aloquímicos	Más del 50% de aloquímicos		Escasa selección	Buena selección	Redondeados y erosionados
Micrita y dismicrita	Micrita fosilífera	Biomicrita dispersa	Biomicrita empaquetada	Bioesparita escasamente lavada	Bioesparita mal seleccionada	Bioesparita bien seleccionada	Bioesparita redondeada
							

Figura 5. 1. Muestra CA-01. Rango de texturas que se presentan en las rocas carbonatadas, ilustradas usando los términos de la clasificación de Folk (Adams & Mackenzie, 1997).

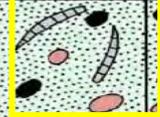
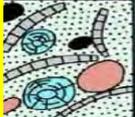
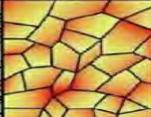
Textura deposicional reconocible				Textura deposicional no reconocible	
Componentes originales no unidos durante la sedimentación				Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción	
Con barro micrítico			Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico	Boundstone	Cristalina
Esqueleto matriz-soportado	Esqueleto grano-soportado				
< 10 % granos	> 10 % granos		Grainstone		
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Cristalina
					

Figura 5. 2. Clasificación de Dunham 1962, modificado de Moore 2001 (Arribas et al. 2010).

Tabla 5. 2. Muestra con código CA-02, según la clasificación Dunham y Folk (1962).

Nº muestra	CA-02	COORDENADAS	
	ESTE		NORTE
	272748		8386797
	CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002		
	Según la clasificación de folk es una micrita		
	CLASIFICACIÓN DE DUNHAM		
Caliza mudstone de color gris oscuro y amarillento verdoso con peloides (grano no esquelético de forma ovoidal).			

Más de 2/3 de matriz micrítica				Esparita y micrita en proporciones similares	Más de 2/3 de cemento esparítico		
0 - 1% de aloquímicos	1 - 10% de aloquímicos	10 - 50% de aloquímicos	Más del 50% de aloquímicos		Escasa selección	Buena selección	Redondeados y erosionados
Micrita y dismicrita	Micrita fosilífera	Biomicrita dispersa	Biomicrita enpaquetada	Bioesparita escasamente lavada	Bioesparita mal seleccionada	Bioesparita bien seleccionada	Bioesparita redondeada
							

Figura 5. 3. Muestra CA-02. Rango de texturas que se presentan en las rocas carbonatadas, ilustradas usando los términos de la clasificación de Folk (Adams & Mackenzie, 1997).

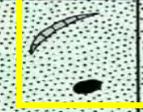
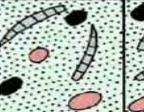
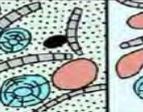
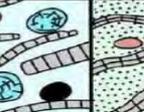
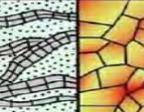
Textura deposicional reconocible				Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción	Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación					
Con barro micrítico		Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico			
Esqueleto matriz-soportado	Esqueleto grano-soportado				
< 10 % granos	> 10 % granos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Cristalina
					

Figura 5. 4. Muestra CA-02. Clasificación de Dunham 1962, modificado de Moore 2001 (Arribas et al. 2010).

Tabla 5. 3. Muestra con código CA-05, según la clasificación Dunham y Folk (1962).

Nº muestra	CA-05	COORDENADAS	
		ESTE	NORTE
		270746	8386843
	CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002		
	Según la clasificación de folk es una micrita recristalizada		
	CLASIFICACIÓN DE DUNHAM		
Caliza mudstone sin presencia de ningún resto fósil.			

Más de 2/3 de matriz micrítica				Esparita y micrita en proporciones similares	Más de 2/3 de cemento esparítico		
0 - 1% de aloquímicos	1 - 10% de aloquímicos	10 - 50% de aloquímicos	Más del 50% de aloquímicos		Escasa selección	Buena selección	Redondeados y erosionados
Micrita y lismicrita	Micrita fosilífera	Biomicrita dispersa	Biomicrita enpaquetada	Bioesparita escasamente lavada	Bioesparita mal seleccionada	Bioesparita bien seleccionada	Bioesparita redondeada
							

Figura 5. 5. Muestra CA-05. Rango de texturas que se presentan en las rocas carbonatadas, ilustradas usando los términos de la clasificación de Folk (Adams & Mackenzie, 1997).

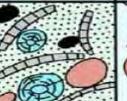
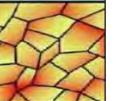
Textura deposicional reconocible					Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación				Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción	
Con barro micrítico			Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico		
Esqueleto matriz-soportado	Esqueleto grano-soportado				
< 10 % granos	> 10 % granos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Cristalina
					

Figura 5. 6. Muestra CA-05. Clasificación de Dunham 1962, modificado de Moore 2001 (Arribas et al. 2010).

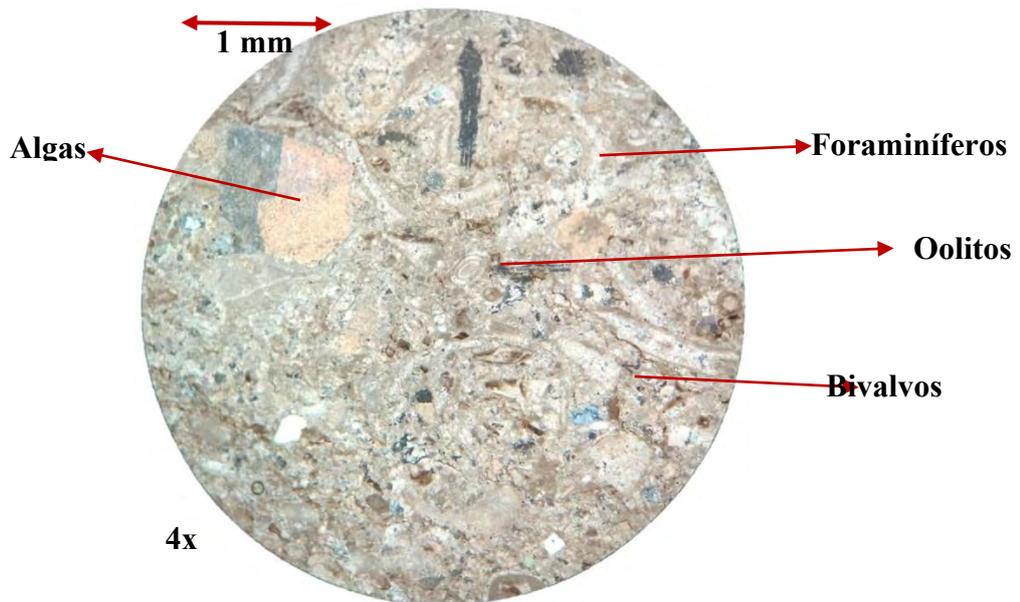
5.5. Descripción petrográfica microscópica

Para una mejor descripción de las rocas carbonatadas de la Formación Arcurquina se hizo un análisis con el microscopio óptico de polarización con luz transmitida. Se elaboraron tres secciones delgadas de las muestras CA-01, CA-02 y CA-05, con la finalidad de determinar los aloquímicos, tipo de ambiente y el grado de fracturamiento. La preparación, descripción y análisis se desarrollaron en la escuela profesional de Ingeniería Geológica de la UNSAAC.

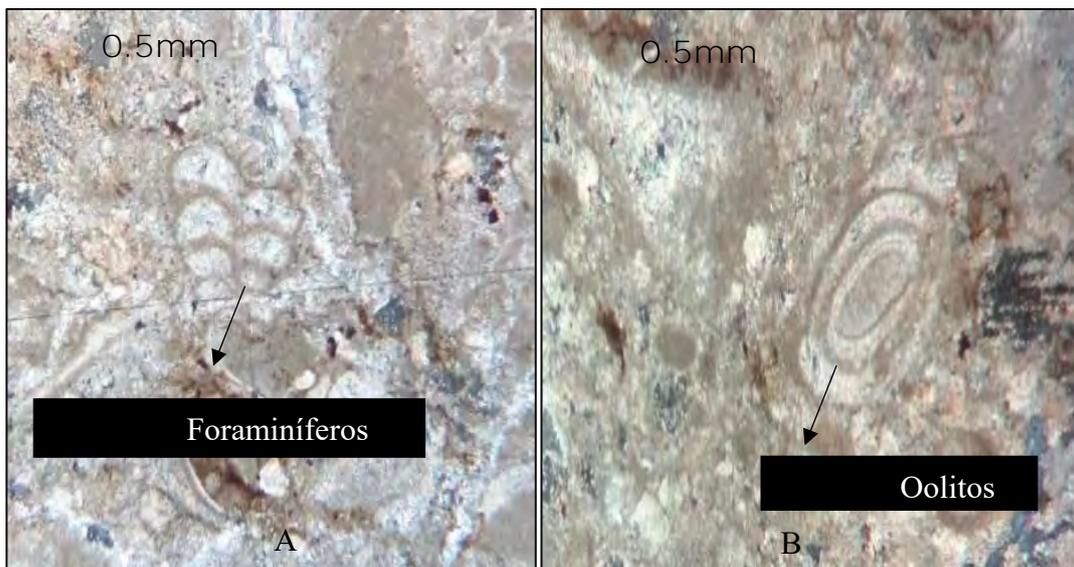
Para obtener las microfotografías de las secciones pulidas, se utilizó el software Leica Application Suite EZ versión 2.0 (LAS EZ V2.0 for Windows), y se tomaron con una cámara Leica MC120HD/ MC170HD.

5.5.1. Sección delgada con código CA1-01

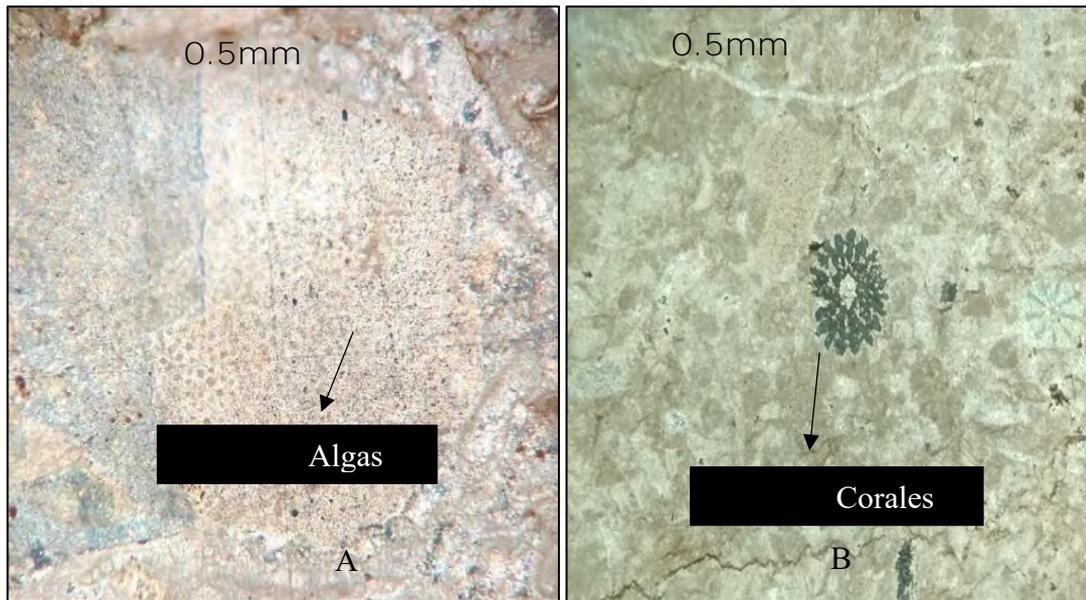
Vista en nicols cruzados, esta sección delgada con código CA1-01, de acuerdo a la clasificación de Folk (1962), es una Biomicrita. Esta muestra presenta una variedad muy rica en aloquímicos (bioclastos) como son los bivalvos, foraminíferos, corales y algas en un 52%, oolitos en un 3% en una matriz micritica recristalizada en un 42%. Una estimación de la porosidad secundaria es en un 3% porque presenta microestructuras de finas fisuras irregulares F1 y venillas de calcita postreras F3. Con estas características se interpreta formada en un ambiente de plataforma profunda.



Microfotografía 5. 1. Sección delgada CA1-01. Vista en nicoles cruzados caliza micrítica, dominada en el hemisferio norte por bioclastos en una matriz micrítica recristalizada.



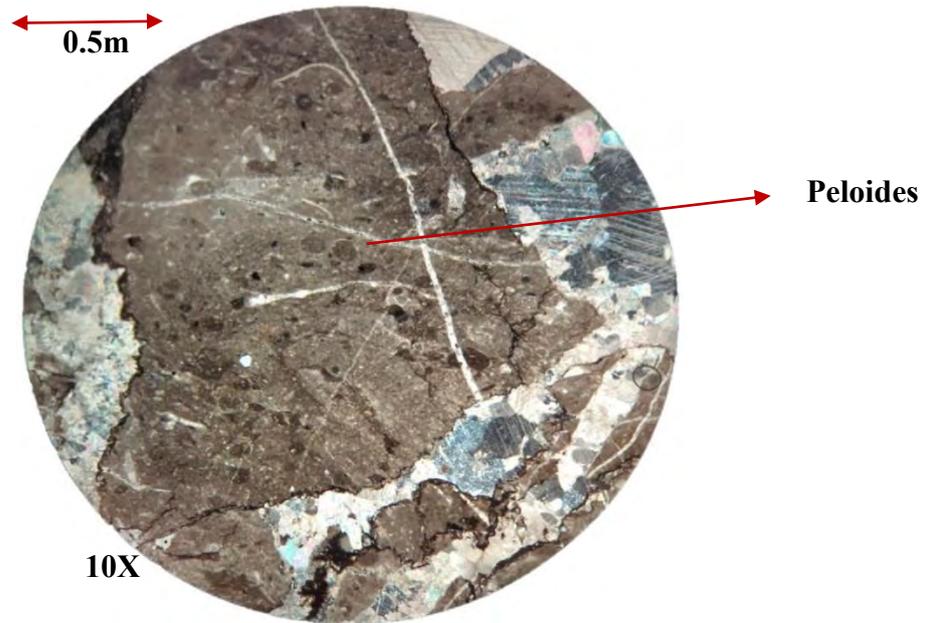
Microfotografía 5. 2. Sección delgada CA1-01 ampliado en 0.5 mm. Vista en nicoles cruzados caliza micrítica. A= Bioclastos de foraminíferos, B=Oolito con laminaciones concéntricas alternantes de micrita y microesparita.



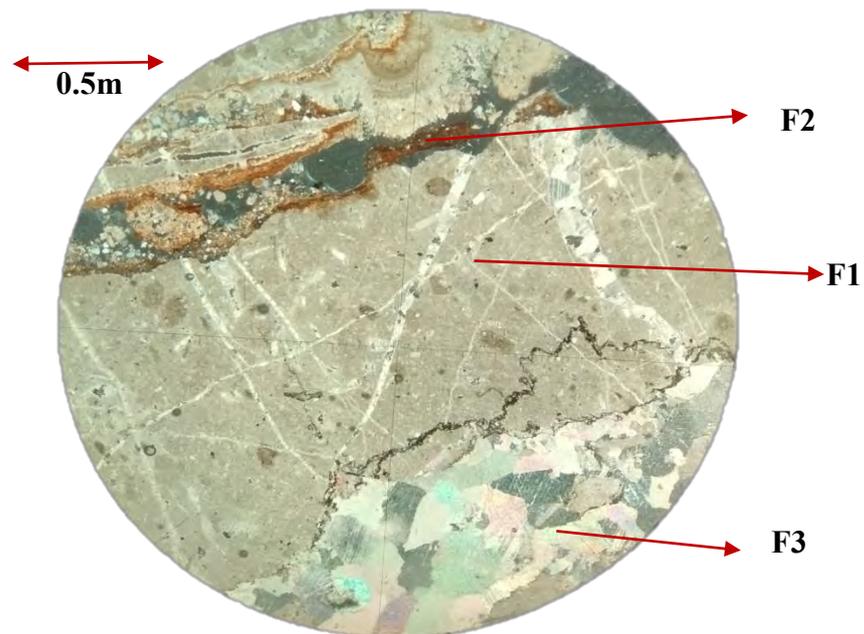
Microfotografía 5. 3. Sección delgada CA1-01 ampliado en 0.5 mm. Vista en nicols cruzados caliza micrítica. A=algas con estructura de panel de abeja, B=bioclastos de Corales.

5.5.2. Sección delgada con código CA2-02

Vista en nicols cruzados, esta sección delgada con código CA2-02, de acuerdo a la clasificación de Folk es una micrita con peloides. En los aloquímicos tenemos los peloides (granos no esqueléticos de forma ovoidal) de granos micritizados de tamaños < 0.5mm de formas circulares a elípticas, con trazas de estructuras internas, difícil de precisar en matriz micrítica en un (8%) en una matriz micrítica recristalizada en un 88%. Una estimación de la porosidad secundaria es en un 3% porque presenta microestructuras de finas fisuras irregulares F1 (0.5%), fisuras irregulares con limonita F2 (1.5%) y venillas de calcita postreras F3 (2%). Con estas características se le interpreta formada en un ambiente de plataforma profunda.



Microfotografía 5. 4. Sección delgada CA2-02. Vista en nicols cruzados. Nótase las venas de calcita (F3) cortando a la micrita con peloides.

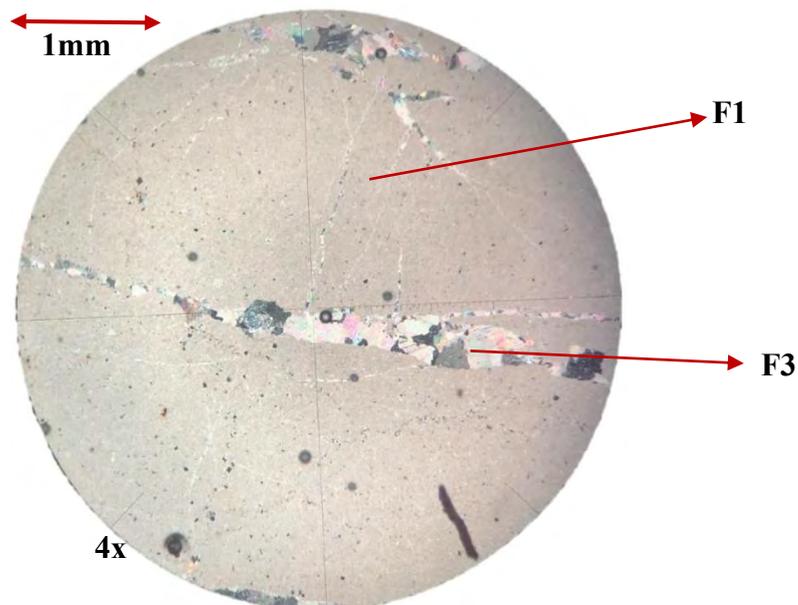


Microfotografía 5. 5. Sección delgada CA2-02, vista en nicols cruzados. En la parte central se observa la micrita atravesada por los tres sistemas de fractura (F1, F2, F3). Donde la F2 presenta limonita y clastos de cuarzo, en tanto que la F3 es la última en penetrar, pero está rellena de calcita en la parte inferior.

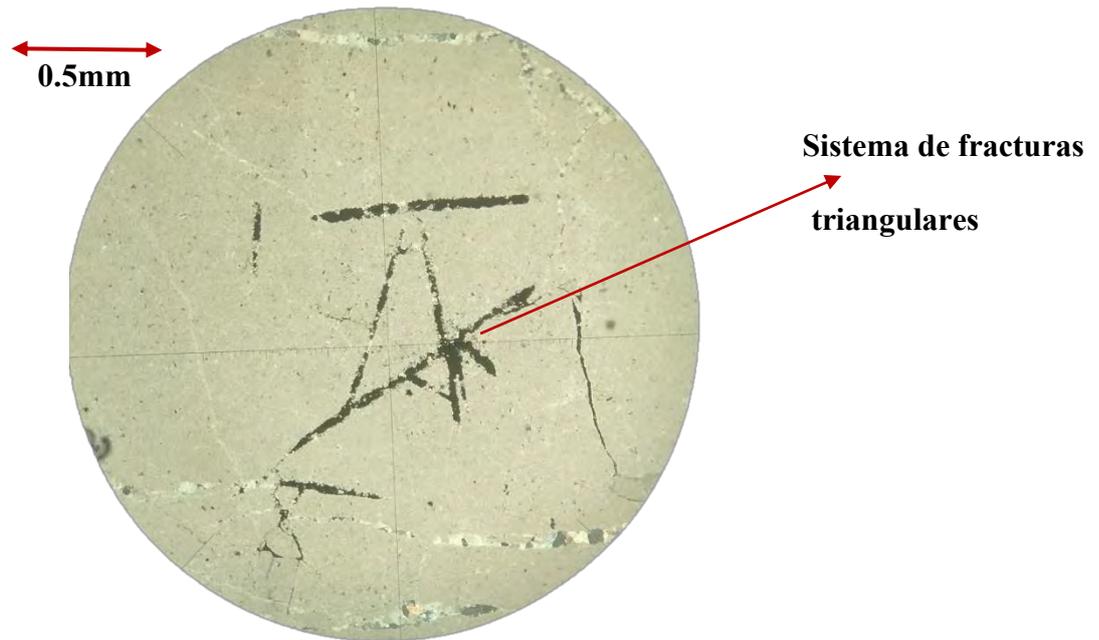
5.5.3. Sección delgada con código CA3-05

Vista en nicols cruzados, esta sección delgada con código CA3-05, según la clasificación de Folk es una micrita recristalizada. No hay presencia de aloquímicos, la matriz es una micrita recristalizada en un 98%. Una estimación de la porosidad secundaria es en un 2% porque presenta microestructuras de finas fisuras irregulares F1, fisuras irregulares con limonita F2 y venillas de calcita postreras F3. Con estas características se le interpreta formada en un ambiente de plataforma somera.

La deformación es frágil, manifestada con tres sistemas de fracturamiento en orden sucesivo (F1, F2 y F3), las cuales han permitido el relleno de fluidos postreros.



Microfotografía 5. 6. Sección delgada CA3-05, vista en nicols cruzados micrita cortada por las fracturas F1 y F3.



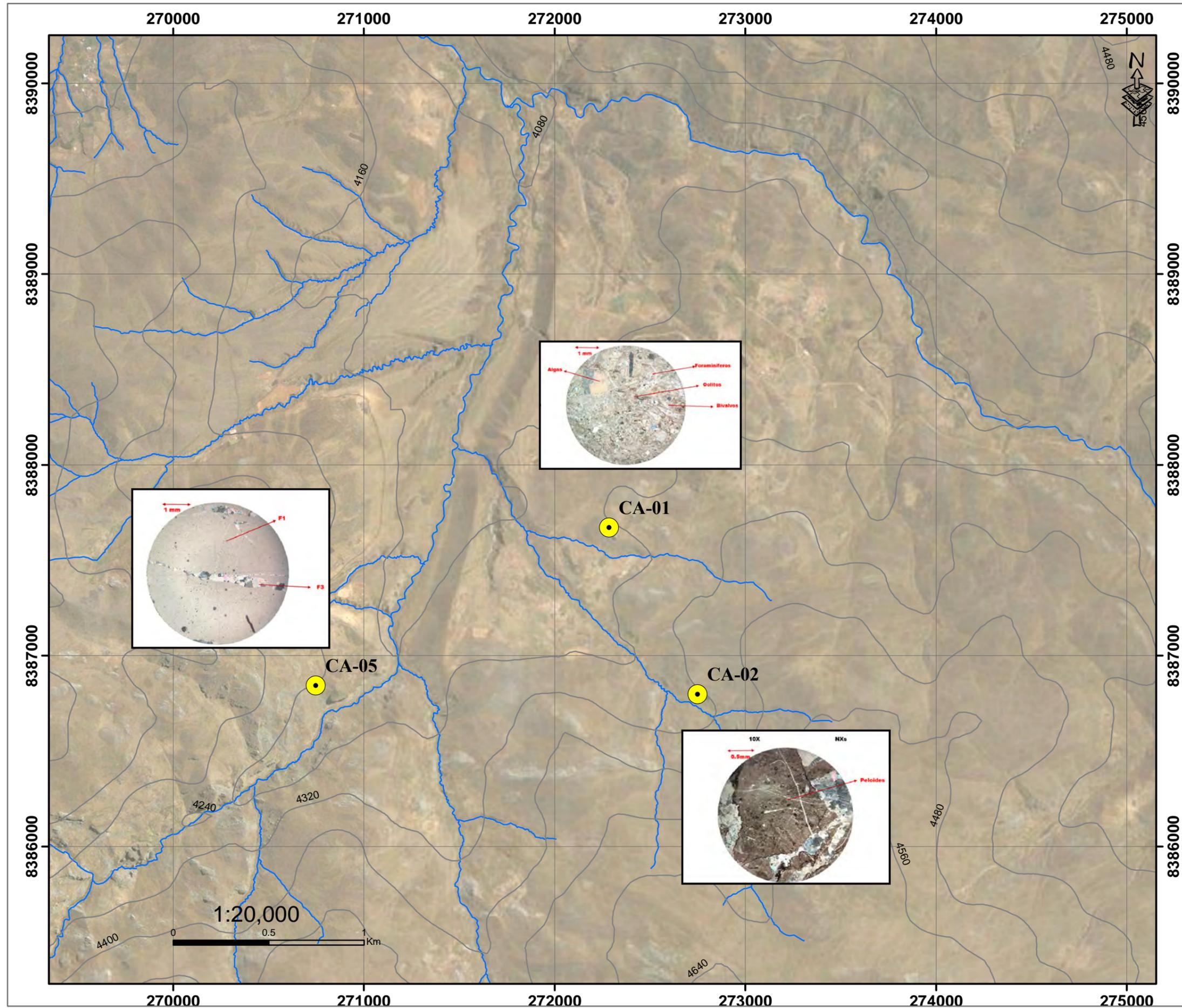
Microfotografía 5. 7. Sección delgada CA3-05, vista en nicols cruzados. La intersección de fracturas provoca la denominada porosidad secundaria diseñando formas triangulares.

5.6. Levantamiento de una columna estratigráfica

5.6.1. Metodología

Se levantó dicha columna a una escala de 1/250, para lo cual se utilizó la clasificación de Dunham y Folk (1962), describiendo las distintas litofacies (color, litología, espesor, estructuras, aloquímicos, ortoquímicos, composición mineralógica y algunas características relevantes). También se recolectó muestras representativas para su posterior análisis microscópico en algunos tramos que no se haya podido detallar las observaciones. Estas muestras han sido preparadas y estudiadas en el gabinete de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la UNSAAC, utilizando un microscopio de polarización Leica y el software Sed Log para la elaboración de la columna estratigráfica en gabinete. Se describieron las microfacies, los aloquímicos, la micrita, la matriz. Posteriormente se hizo la asociación de litofacies y microfacies para interpretar los ambientes de sedimentación de las calizas de la Fm. Arcurquina.

MAPA DE ANALISIS MICROSCOPICO DE LAS CALIZAS DE LA FORMACION ARCURQUINA



ESTE	NORTE	MUESTRAS
272284.00	8387671.00	CA-01
272748.00	8386797.00	CA-02
271607.00	8385642.00	CA-03
270651.00	8386432.00	CA-04
270746.00	8386843.00	CA-05

SIMBOLOGIA

- muestras representativas
- Curvas_nivel 100 m
- drenages

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
MAPA: MAPA DE ANALISIS MICROSCOPICO DE LAS CALIZAS DE LA FORMACION ARCURQUINA		
REGION: Cusco PROVINCIA: Canas DISTRITO: Layo SECTOR: Callimuro	PROYECCION: Universal Transversa Mercator(UTM) ELIPSOIDE O DATUM HORIZONTAL: World geodesic system 1984(WGS84) HUSO Y ZONA: 19S SUR	
ASESOR: Dr. Rómulo Escobedo Zapana	ELABORADO POR: Br. Rosmery Maquerhúa Mantilla Br. Anali Balvina Ccoa Yucra	FUENTE: Propia
ESCALA DE IMPRESION: A4	ESCALA DE TRABAJO: 1:20,000	FECHA: MAY. 2023
	CODIGO: MAMCFA-01	MAPA N°: 10



Figura 5. 7. Ubicación de la columna estratigráfica en el sector de Callimuro.



Foto 5. 11. Lugar donde se desarrolló el levantamiento de la columna estratigráfica de la Formación Arcurquina, identificándose tres miembros, MA=Miembro A, MB=Miembro B y MC=Miembro C.

5.6.2. Columna estratigráfica

Se levantó una columna de 470 m de espesor total, identificándose así tres miembros cada miembro con sus secuencias.

5.6.2.1. MIEMBRO A

Este miembro presenta 150 m de espesor total y está compuesta por tres secuencias A1, A2 y A3, cuyas asociaciones de litofacies características son de la base al tope.

Secuencia A1 (15 m de espesor)

Presenta una asociación de calizas margosas y calizas bituminosas orgánicas gris claro verdoso de tipo *wackestone* con restos fósiles de bivalvos y foraminíferos. Al microscopio de polarización se describen como biomicrita (conteniendo micrita, bivalvos, foraminíferos). Se las interpreta como formadas en un ambiente de plataforma profunda.

Secuencia A2 (25 m de espesor)

Presenta una asociación de calizas bituminosas gris claro verdoso de tipo *wackestone* con restos fósiles de algas y corales. Al microscopio de polarización se describen como biomicrita (conteniendo micrita, algas y corales). Se las interpreta como formadas en un ambiente de plataforma profunda.

Secuencia A3 (105 m de espesor)

Presenta una asociación de calizas bituminosas gris claro verdoso de tipo *wackestone* con restos fósil de oolitos, dispuestas en estratos de 10 cm. Al microscopio de polarización se describen como biomicrita (conteniendo micrita, y oolitos). Se las interpreta como formadas en un ambiente de plataforma profunda.

5.6.2.2. MIEMBRO B

Este miembro presenta 200 m de espesor total y está compuesta por una sola secuencia B1, cuyas asociaciones de litofacies características son (de la base al tope):

Secuencia B1 (200 m de espesor)

Presenta una asociación de calizas brechadas en pequeños paquetes y calizas gris claro verdoso de tipo mudstone con resto fósil de peloides, dispuestas en estratos de 20 cm. Al microscopio de polarización se describe como una micrita (conteniendo micrita, y peloides). Se las interpreta como formadas en un ambiente de plataforma somera.

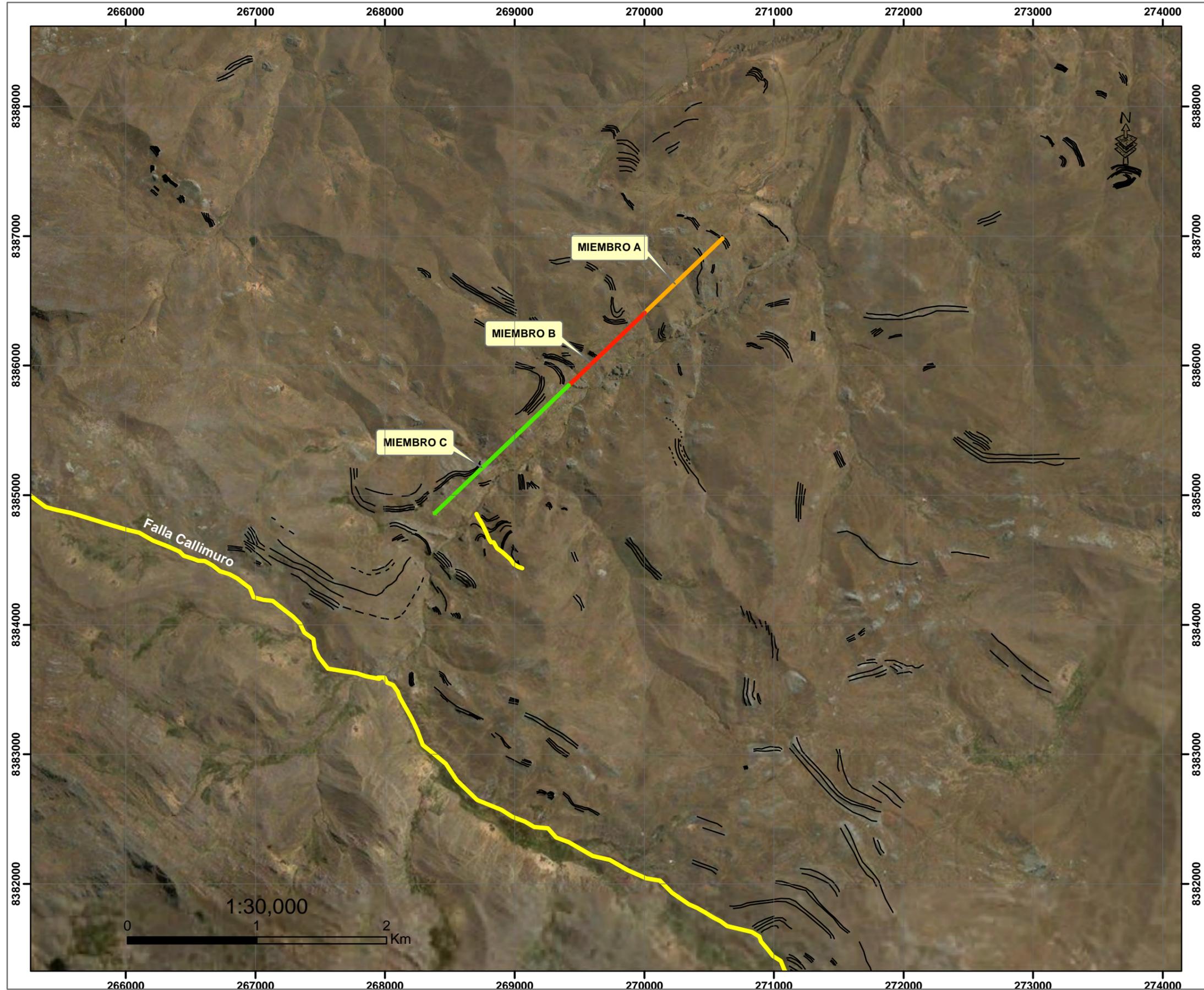
5.6.2.3. MIEMBRO C

Este miembro presenta 120 m de espesor total y está compuesta por una sola secuencia C1, cuyas asociaciones de litofacies características son (de la base al tope):

Secuencia C1 (120 m de espesor)

Presenta una asociación de calizas brechadas y calizas grises a gris oscura de tipo mudstone sin ningún resto fósil. Al microscopio de polarización se describe como una micrita recristalizada (conteniendo micrita). Se las interpreta como formadas en un ambiente de plataforma somera.

MAPA DE UBICACION DE LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA CON LOS DIFERENTES MIEMBROS EN CALLIMURO-LAYO



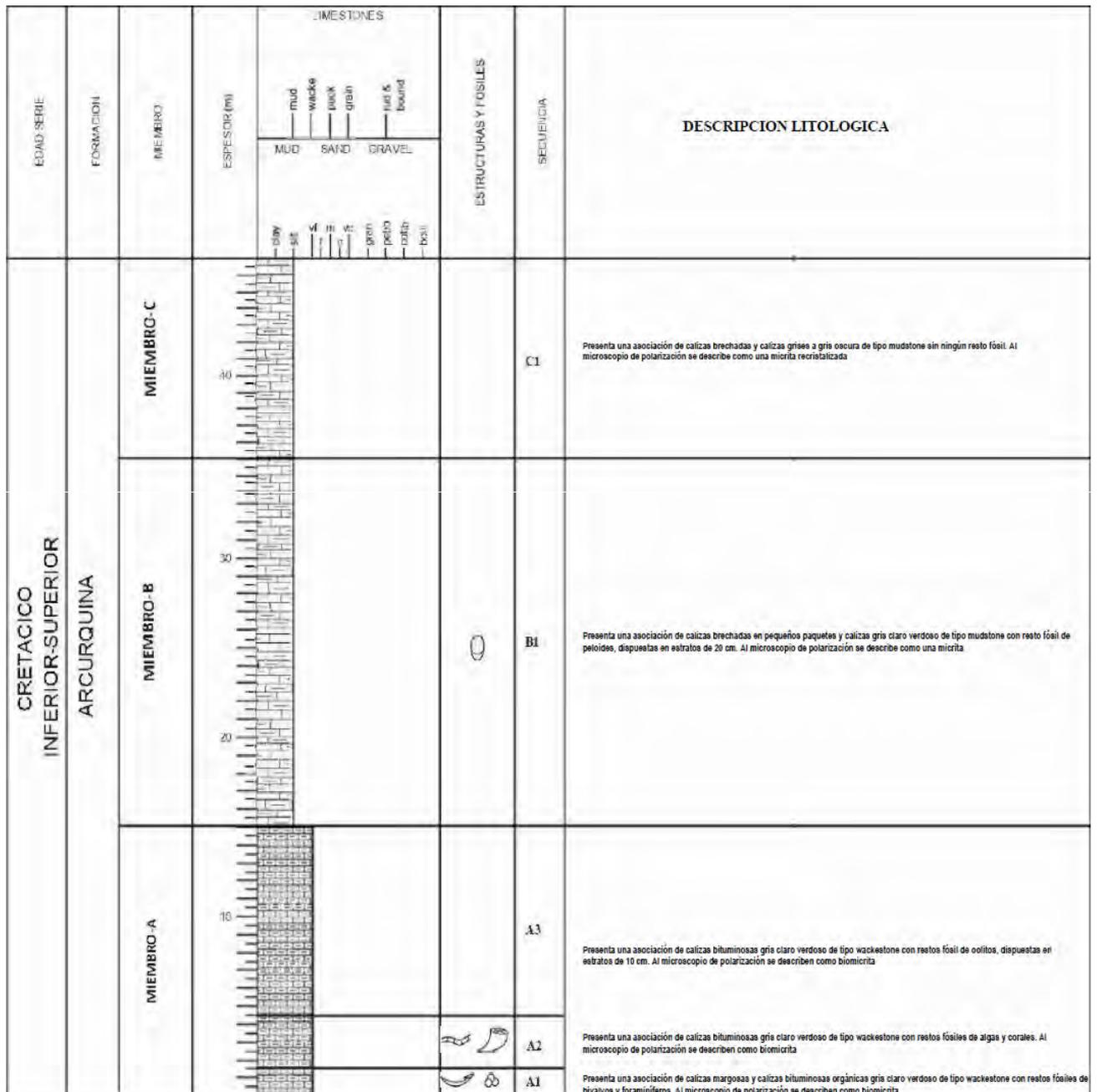
SIMBOLOGIA

-  fallas
-  Aliniacion

MIEMBROS

-  A
-  B
-  C

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DELCUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA				
MAPA DE UBICACION DE LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA CON LOS DIFERENTES MIEMBROS EN CALLIMURO-LAYO				
MAPA: REGION: Cusco PROVINCIA: Canas DISTRITO: Layo SECTOR: Callimuro		PROYECCION: Universal Transversa Mercator(UTM) ELIPSOIDE O DATUM HORIZONTAL: World geodesic system 1984(WGS84) HUSO Y ZONA: 19S.SUR		
ASESOR: Dr. Rómulo Escobedo Zapana		ELABORADO POR: Br. Rosmery Maquerhua Mantilla Br. Anali Balvina Ccoa Yucra	FUENTE: Propia	
ESCALA DE IMPRESION: A4	ESCALA DE TRABAJO: 1:30,000	FECHA: MAY.2023	CODIGO: MUJCE-01	MAPA N°: 11



LEYENDA



Figura 5. 8. Columna estratigráfica de la Formación Arcurquina elaborada en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

5.6.3. Análisis de la columna estratigráfica

Formación Arcurquina como como roca generadora

Las secuencias A1, A2 y A3 del Miembro A, por las características litológicas (calizas orgánicas bituminosas de tipo wackestone altamente fracturadas, al microscopio se observan como una biomicrita), por el contenido de materia orgánica (TOC) que presentan estarían funcionando como rocas generadoras al igual que la Formación Ayabacas.

En el sector Yanaoco, de la cuenca del Titicaca se realizó estudios para evaluar su prospectividad, brindándonos resultados alentadores con un TOC alrededor del 1.80%, así como valores de Ro comprendidos entre 1.19 y 2.01 %, evidenciando que dicha secuencia se encuentra en una avanzada madurez termal, así como ubicable en la ventana de generación de gas.

En la zona de estudio de la presente tesis que está comprendido entre los pasajes de Limbani y Callimuro se ha encontrado la misma secuencia del sector de Yanaoco de la cuenca del Titicaca estudiada por C. Teves (2016), por correlación estratigráfica y history maching se asumen los mismos valores de 1.8% de TOC, entre 1.19 a 2.01 % de Ro, con avanzada madurez termal ubicable en la ventana de generación de gas y la secuencia de rocas carbonatadas alcanza a 470m.



Foto 5. 12. Caliza bituminosa de la secuencia A1 con restos fósiles mal conservados.

Teves (2014), las secuencias carbonatadas Cretácicas de la Formación Ayabacas presentan dentro de su secuencia niveles brechosos calcáreos, así como slumps muy fracturados, los cuales favorecen la posibilidad de almacenamiento de hidrocarburos en esta unidad. La Formación Ayabacas también actúa como una roca generadora y reservorio Teves (2014).

En nuestra zona de estudio las secuencias B1 y C1 tendrían un comportamiento similar a la Formación Ayabacas de una roca reservorio, por contener calizas brechadas en algunos paquetes y calizas de tipo mudstone. Los cuales corresponden a un ambiente de plataforma somera.

Foto 5. 13

Brecha calcárea con clastos de calizas de la secuencia C1.



5.6.4. Litofacies

Las litofacies reconocidas en la zona de estudio son:

- Litofacies de calizas margosas gris claro verdoso de tipo *wackestone*
- Litofacies de calizas gris claro verdoso de tipo *wackestone*
- Litofacies de calizas gris claro verdoso de tipo *wackestone*
- Litofacies de calizas gris claro verdoso de tipo *mudstone*
- Litofacies de calizas gris a gris oscura de tipo *mudstone*

La Formación Arcurquina es relativamente subsidente de ambiente nerítico debido a un proceso transgresivo Benavides (1962), por lo cual en la zona de Callimuro se pudo identificar dos tipos de litofacies como son las calizas tipo wackestone y mudstone correspondientes a un periodo de transgresión y regresión desarrollados en una plataforma somera y protegida Jaillard (1995).

5.6.5. Correlación estratigráfica y bioestratigráfica

La Formación Ferrobamba es equivalente de la Formación Arcurquina de la región de Arequipa, ambas presentan 4 secuencias mayores y espesores similares Carlotto et al. (2006), también es correlacionable con la Fm. Ayabacas del Cusco. Carlotto et al. (2006). Todas representan el intervalo transgresivo Albiano-Turoniano desarrollado en la margen peruana. Así como también con las formaciones del norte del Perú (Chúlec, Pariatambo, Jumasha).

En la región de Totos el Grupo Yura ha sido dividida en siete secuencias mayores que corresponden al Grupo Yura con seis secuencias, y la séptima secuencia restante posiblemente equivalente de la Formación Arcurquina o Ayabacas Carlotto et al. (2008).

La Secuencia VII (30 m) corresponde a un banco de calizas mudstone y brechas calcáreas producto de deslizamientos sinsedimentarios y karstificaciones. Esta facie nos indica un medio de plataforma carbonatada interna y sería un equivalente de la Formación Arcurquina de la cuenca Arequipa o de la Formación Ayabacas del Altiplano sur del Perú, ambos del Albiano-Turoniano. Carlotto et al. (2008).

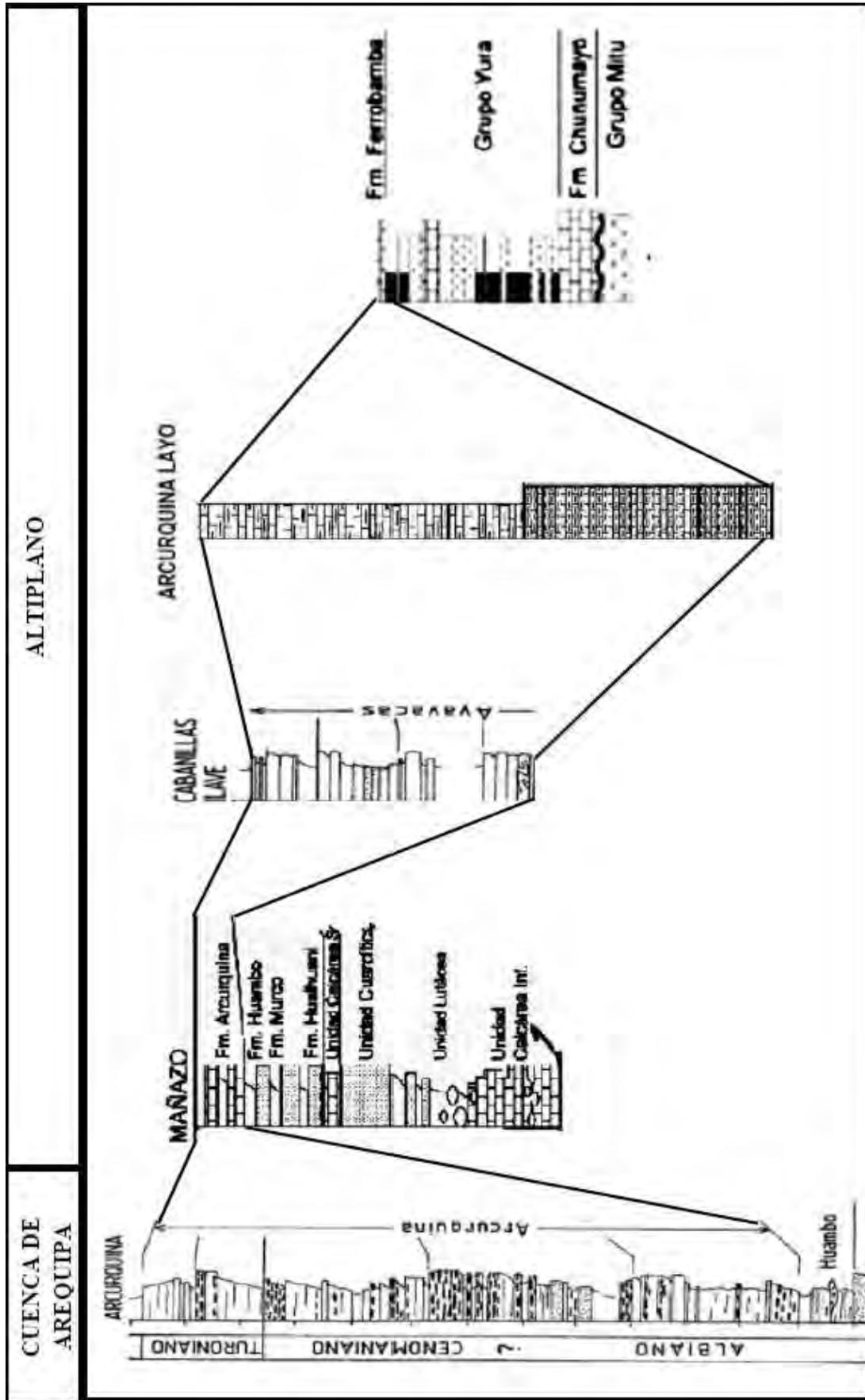


Figura 5. 9. Correlación de la Formación Arcuquina con la cuenca de Arequipa y algunas columnas estratigráficas del Altiplano. Tomado de Jaillard y Santander (1992), Jaillard et al. (1995). Modificación propia.

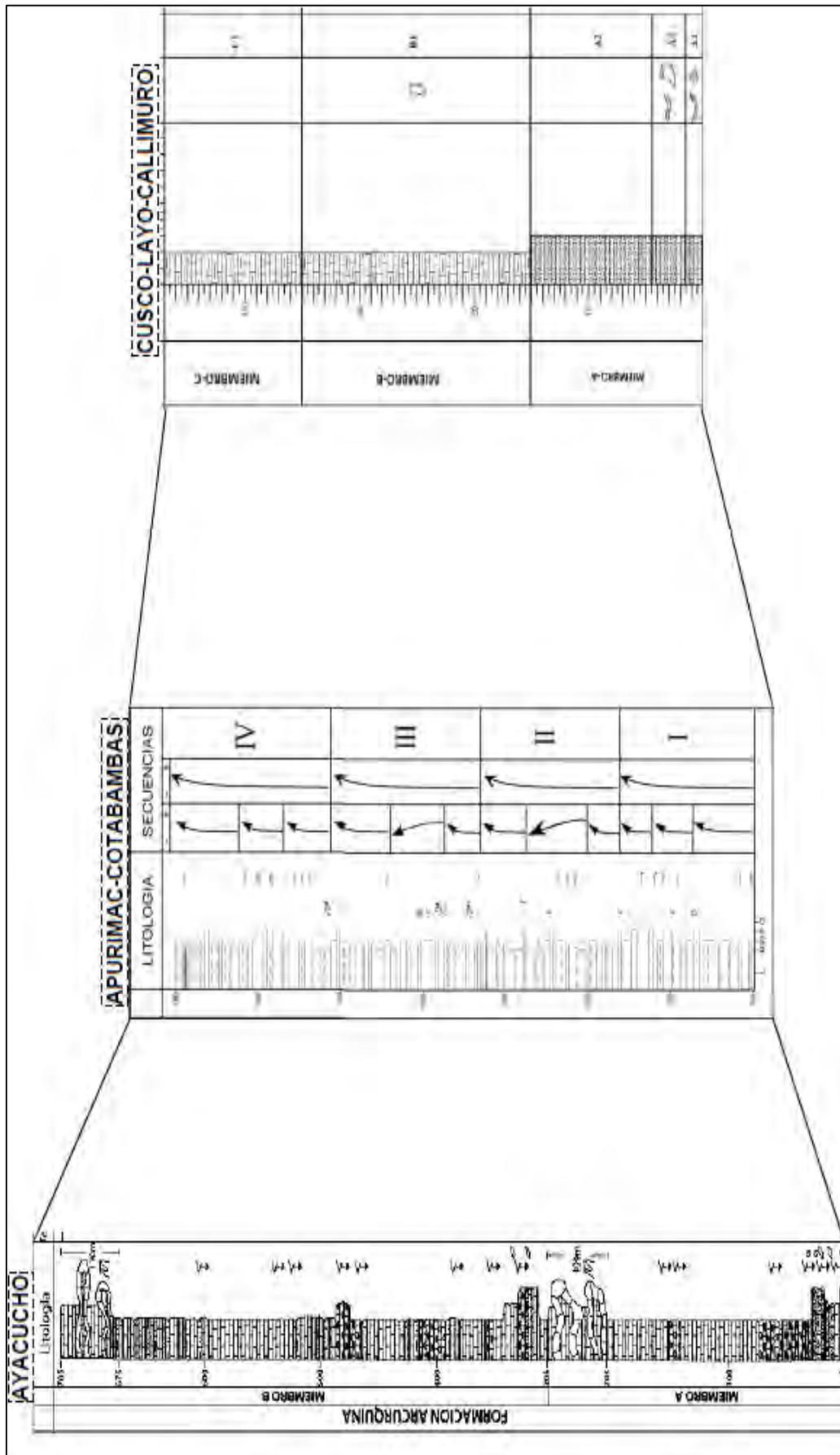


Figura 5. 10. Correlación de la formación Arcuquina de Callimuro con la región de Ayacucho en el área de Santa Ana, donde se diferencia dos miembros cada una con tres secuencias y la formación Ferrobamba de Cotabambas con cuatro secuencias. Tomado de chacón et al. (2013) y Carlotto et al. (2006). Modificación propia.

CAPITULO VI

BIOESTRATIGRAFIA

6.1. Generalidades

Los fósiles proporcionan un método adicional y altamente útil para subdividir las rocas sedimentarias en unidades estratigráficas identificables. Ellos permiten ordenar y datar de una manera relativa los estratos y correlacionarlos a escala continental y global. La caracterización y correlación de unidades de roca con base en su contenido fósil se denomina bioestratigrafía

6.2. Muestras fósiles recolectadas

Durante los trabajos de campo en la zona de estudio sector Callimuro, se recolectaron tres muestras de grandes afloramientos de las rocas carbonatadas de la Formación Arcurquina, con una descripción macroscópica no se observó ningún resto fósil, por lo cual se recurrió al laboratorio para su descripción microscópica.

6.3. Resultados de los estudios paleontológicos

Para la descripción de la fauna de los carbonatos se tuvo que recurrir al laboratorio de microscopia de la UNSAAC de la escuela profesional de ingeniería geológica, con ayuda de un especialista en esta área. Para la descripción se utilizó el software Leica Application Suite EZ versión 2.0 (LAS EZ V2.0 for Windows), y se tomaron con una cámara Leica MC120HD/MC170HD.

Columna estratigráfica sector Callimuro

6.3.1. Muestra con código CA1-01

Secuencia A1

Vista al microscopio nos indica que son foraminíferos en calizas tipo wackestone, esta muestra corresponde al miembro inferior o miembro A de la secuencia A1.



Microfotografía 6. 1. Foraminíferos vista al microscopio

Según la clasificación de Vera (1994), los foraminíferos se manifiestan desde el Cretácico hasta la actualidad. Su ambiente de formación son los lagoons con circulación normal y viven a una baja profundidad.

Secuencia A2

Vista al microscopio nos indica que son algas en calizas tipo wackestone, esta muestra corresponde al miembro inferior o miembro A de la secuencia A2.



Microfotografía 6. 2. Algas vistas al microscopio.

Según la clasificación de Vera (1994), las algas se manifiestan desde el cretácico hasta la actualidad. Su ambiente de formación es en zonas de baja profundidad y climas cálidos a comparación de las algas rojas viven en zonas arrecifales, lagoons y zonas profundas de hasta 250 m.

Secuencia A2

Vista al microscopio nos indica que son corales en calizas tipo wackestone, esta muestra corresponde al Miembro inferior o Miembro A de la secuencia A2.



Microfotografía 6. 3. Corales vistas al microscopio.

No se ha podido determinar en ninguna de las clasificaciones. Su ambiente de formación son zonas de arrecifes.

6.3.2. Muestra con código CA2-02

Secuencia B1

Peloides en calizas tipo mudstone vista al microscopio esta muestra corresponde al miembro medio o miembro B de la secuencia B1. Corresponden a una plataforma carbonatada somera.



Microfotografía 6. 4. Peloides vista al microscopio.

No se ha podido determinar en ninguna de las clasificaciones. Su ambiente de formación es en ambientes protegidos (lagoons con circulación normal y llanuras mareales), en cavidades dentro de arrecifes.

Ambiente de formación: En conclusión, decimos que estos fósiles viven en ambientes de plataforma carbonatada somera protegida o nerítica.

Edad: Según la fauna fosilífera es datada de edad Albiano a Turoniana. Esta edad puede precisarse mejor en base a las correlaciones de la Formación Arcurquina en Arequipa (Benavides, 1962) define como de edad Albiano a Turoniano, mientras que (Jaillard, 1995) divide en cuatro secuencias con sus respectivas edades desde el Albiano a Turoniano. También es equivalente a la Formación Ferrobamba de la región de Cotabambas y con las calizas Ayabacas de la región del Cusco (Carlotto et al. 1992), depositadas en el alto estructural Cusco-Puno, ambas del Albiano a Turoniano (Carlotto et al. 1992).

CAPITULO VII

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

7.1. Discusión

La Formación Arcurquina ha sido datada de diferentes edades por la microfauna encontrada y la posición estratigráfica, diferentes autores como (Jenks, 1948), (Benavides, 1992), (Jaillard, 1995) (Carlotto et al. 1992), (Dávila, 1988) lo datan del Albiano-Turoniano. En el cuadrángulo de Arequipa Benavides (1962), determina una edad del Albiano-Coniciano por el contenido de los fósiles, mientras que en el cuadrángulo de Velille, la Formación Arcurquina (Klinck et al. 1986) ha sido datada como de edad Aptiano y la Formación Ferrobamba que es correlacionable con la Formación Arcurquina según (Marocco, R, 1975) es del Aptiano-Turoniano. Mientras que la Formación Ayabacas (Callot, 2008), data del Turoniano-Coniciano y (Callot, 2013) data del Turoniano.

Estudios regionales de la Formación Arcurquina, dividen a esta formación en 4 secuencias y 2 Miembros, por ejem: Benavides (1948) y Jaillard (1995) estudian a la Formación Arcurquina, dividiendo en cuatro secuencias y cada secuencia también está dividida en otras secuencias pequeñas. Mientras que Chacón (2013), hace un estudio de la Formación Arcurquina al norte de la cuenca de Arequipa, dividiendo en 2 Miembros A y B y cada Miembro con tres secuencias.

Esta Formación se encuentra en la bordura de la cuenca Titicaca-Puno, bien sabemos que esta cuenca presenta un sistema petrolero activo, donde la roca generadora es la Formación Ayabacas y otras formaciones y como roca reservorio también se tiene a la Formación Ayabacas por el contenido de las brechas calcáreas y por el grado de fracturamiento, el cual le da una porosidad secundaria (Teves, 2014). Al suroeste (Izlaycocha-Espinar) de la zona de estudio se han evidenciado chapapoterías que corresponde también a un mismo sistema petrolero activo de la cuenca Titicaca.



Figura 7. 1. Ubicación y extensión de la Cuenca del Titicaca.

Fuente: Teves (2014).

7.2. Resultados

En nuestra zona de estudio se asignó una edad Cenomaniano-Turoniano, por el contenido fosilífero (bivalvos y foraminíferos) que presenta las muestras de la Formación Arcurquina.

Al inicio del estudio se pensó encontrar las mismas secuencias y miembros de los estudios regionales de la Formación Arcurquina, pero con el levantamiento de la columna estratigráfica y el análisis complementario (macroscópico y microscópico) en nuestra zona de estudio se encontró tres Miembros: A, B y C y cada una de ellas con sus diferentes secuencias, diferenciándolas cada secuencia por el contenido fosilífero que presentan.

Nuestra zona de estudio se encuentra dentro de la cuenca del Titicaca por lo cual diríamos que es el mismo sistema petrolero de esta cuenca. La Formación Ayabacas con la Formación Arcurquina son el mismo, por lo cual esta formación estaría funcionando como roca generadora y reservorio por el contenido de materia orgánica (calizas orgánicas bituminosas) de plataforma profunda de las primeras secuencias A1 Y A2 como rocas generadoras y las calizas brechadas y calizas de tipo mudstone de plataforma somera B1 y C1 como rocas reservorio.

CONCLUSIONES

1. Se determinó la caracterización y los tipos de rocas carbonatadas de las diferentes secuencias de la Fm. Arcurquina. Realizando una columna estratigráfica con un espesor de 470 m, en la zona de estudio se identificó 3 miembros: Miembro A, tiene una potencia de 150 m, compuesta por tres secuencias: secuencia A1 (calizas margosas en pequeños paquetes y calizas bituminosas gris claro verdoso y calizas tipo wackestone, al microscopio se describe como una biomicrita), secuencia A2 (calizas bituminosas gris claro verdoso de tipo wackestone, al microscopio se observa como una biomicrita) y la secuencia A3 (calizas bituminosas gris claro verdoso de tipo wackestone, al microscopio se observa como una biomicrita), Miembro B, tiene una potencia de 200 m, presenta una sola secuencia: secuencia B1 (calizas brechadas y calizas gris claro verdoso de tipo mudstone, al microscopio se describe como una micrita) y el Miembro C con una potencia de 120 m con una sola secuencia C1 (calizas brechadas y calizas gris a gris oscura de tipo mudstone, al microscopio se observa como una micrita), estas secuencias se diferencian por el contenido fosilífero.
2. Se determinó la bioestratigrafía de las diferentes secuencias de la Fm. Arcurquina: Miembro A, secuencia A1 (fósiles de bivalvos y foraminíferos, el cual se interpreta de un ambiente de plataforma profunda), secuencia A2 (fósiles de algas y corales, de un ambiente de plataforma profunda) y secuencia A3 (fósil de oolitos, dispuestas en estratos de 10 cm de plataforma profunda), Miembro B, secuencia B1 (fósil de peloides, dispuestas en estratos de 20 cm de un ambiente de plataforma somera).

RECOMENDACIONES

1. Realizar una evaluación geoquímica de las rocas carbonatadas de los miembros A, B y C, de la Formación Arcurquina.
2. Realizar estudios de palinología en todos los niveles carbonatados con materia orgánica o bituminosa, especialmente la secuencia A2.
3. Realizar una investigación sobre dataciones geo-cronológicas para conocer con más exactitud la edad de la Formación Arcurquina.
4. Levantar columnas estratigráficas en las áreas aledañas a la zona de estudio, así obtener con mayor precisión las secuencias y así correlacionar con otras columnas estratigráficas de diferentes regiones (Arequipa, Puno, Cusco Ayacucho, Apurímac y las regiones del Norte).

BIBLIOGRAFIA

- Benavente, C., Delgado, F., Taibe, E., Audin, L & Pari, W. (2013). Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55, pp.86-93.
- Benavides, V. (1962). Estratigrafía pre-terciaria de la región de Arequipa. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 38, pp. 5-63.
- Chacón, A., Navarro, J., Cerpa, L., Aguilar, R., Siesquen, D., Muñoz, L., Martínez & Cereceda. (2013). La Formación Arcurquina en el área de Santa Ana, Ayacucho, sur del Perú. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v.108, pp. 185-188.
- Carlotto, V., Cárdenas, J & Carlier, G. (). Puesta en evidencia de acreciones mesoproterozoicas en la Formación de la litosfera del sur del Perú. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú.
- Carlotto, V., Rodríguez, R., Acosta, H., Cárdenas, J & Jaillard, E. (2009). Alto estructural Totos- Taras (Ayacucho): límite paleogeográfico en la evolución Mesozoica de las cuencas Pucara (Triásico superior-Liásico) y Arequipa (Jurásico-Cretácico). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, pp. 1-46.
- Carlotto, V., Cárdenas, J., Cerpa, L., Velarde, T., Yupanqui, V., Acosta, H & Jaimes, F. (2006). Evolución sedimentaria y tectónica de la Formación Ferrobamba (Albiana-Turoniana) de la región Cotabambas - Apurímac. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, pp. 525-528.
- Callot, P., Carlotto, V., Odonne, F & Sempere, T. (2013). Progresos en el estudio de la Formación Ayabacas. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, pp. 517-520.
- De la Cruz, N. (1995). Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro. Servicio de Geología y Minería, boletín N°58, pp. 29-31.

Duran Ramírez, JC. (2018). Estudio Sedimentológico y Estratigráfico de la Microcuenca Cochamarca -San Marcos Cajamarca Perú, Cajamarca. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Escalante Gutiérrez. (2015). Estratigrafía.

Jaillard, E. (1995). La sedimentación Albiana-Turoniana en el sur del Perú (Arequipa-Puno- Putina). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, pp. 135-157.

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

Jaillard, E. (1995). La Sedimentación Albiana-Turoniana en el Sur del Perú (Arequipa-Puno- Putina). Boletín de la sociedad geológica del Perú, Vol. Jubilar Alberto Benavides, pp.135-157.

Julca Sánchez, V. (2022). Caracterización Litobioestratigráfica de la formación Pariatambo en el caserío de Carahuanga del distrito de Baños del Inca. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Laubacher, G. (1978). Estudio geológico de la región norte del Lago Titicaca. Boletín del Instituto de Geología y Minería V.S. Serie D, N° 5, pp. 120.

Marocco, R. & Laubacher, G. (1990). La Cuenca Cretácica del Altiplano Peruano Litoestratigrafía e Interpretación Secuencial. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú v.81, pp. 33-46.

Mendivil, S & Dávila, M. (1994). Geología de los cuadrángulos de Cusco y Livitaca. Servicio de Geología y Minería, boletín N°52, pp. 40-42.

Roque Chirinos, E. (2016). Caracterización sísmica de fracturas en reservorios carbonatados-cuenca Ucayali sur, área de Camisea-Perú. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa.

Sempere, T., Jacay, J., Carrillo, M., Gómez, P., Odonne, F. & Biraben, V. (2000). Características y génesis de la Formación Ayabacas (departamentos de Puno y Cusco). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. v.90, pp. 69-76.

Sempere, T., Jacay, J., Carrillo, M.-A., Gómez, P., Odonne, F. & Biraben, V. (2000) Características y génesis de la Formación Ayabacas (Departamentos de Puno y Cusco). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 90, pp. 69-76.

Teves Gutiérrez, CA. (2016). Análisis estructural y sistema petrolero de la cuenca del Titicaca. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Vargas, L. (1970). Geología de cuadrángulo de Arequipa. Servicio de Geología y Minería, boletín N°24, pp. 31-33.

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

