

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS
SECTORES DE CHAMIS ALTO - CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Autor:

Bach. CAJA GONZÁLEZ, WILSON ALEX

Asesor:

Dr. QUISPE MAMANI, CRISPÍN ZENÓN

CAJAMARCA- PERÚ

- 2026 -

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : Wilson Alex Caja González
2. DNI : 48490421
3. Escuela Profesional : Ingeniería Geológica
4. Asesor : Crispín Zenón Quispe Mamani
Facultad : Ingeniería
5. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
6. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
7. Título de Trabajo de Investigación: LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE CHAMIS ALTO - CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA.
8. Fecha de evaluación : 20 de enero de 2026
9. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
10. Porcentaje de Informe de Similitud : 10%
11. Código Documento : Trn: Oid: 3117:547846300
12. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO
13. Fecha Emisión : 21 de enero de 2026



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: Crispín Zenón Quispe Mamani

DNI : 29243825



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20149268601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 21/01/2026 10:13:13-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0034-2026

TITULO : LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE CHAMIS ALTO - CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA.

ASESOR : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **trece días del mes de febrero de 2026**, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario : M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE CHAMIS ALTO - CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica WILSON ALEX CAJA GONZÁLEZ, asesorado por el Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante, debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 04 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 17 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 15 PTS QUINCE (En letras)

En consecuencia, se lo declara Aprobado con el calificativo de QUINCE acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 8:00 pm horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, La Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica. A Dios por darme la vida y la salud y hacer que este sueño se pueda hacer realidad, a mi asesor el Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani por su apoyo incondicional y a todos mis docentes que me brindaron su enseñanza, para alcanzar mis objetivos.

DEDICATORIA

A mi amado hijo Ethan, por ser la principal fuente de inspiración en mi vida y el motivo que me impulsa a esforzarme y superarme día a día le dedico esta tesis, resultado de constancia y dedicación, como reflejo del amor y compromiso que me inspiran a ser un mejor ejemplo para él.

A mis padres Víctor Caja Sánchez y Aurora González chiquilín por ser el pilar de mi vida y un verdadero ejemplo de amor, dedicación y sacrificio. Gracias a su incansable esfuerzo y al inmenso apoyo que siempre me han brindado, hoy puedo ver realizado uno de los sueños más importantes de mi vida.

A mis queridos hermanos en especial Patricia, Segundo y Manuel, por estar siempre a mi lado, por su cariño constante y su apoyo incondicional a lo largo de mi camino profesional y personal.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1. Estratigrafía.....	5
2.2.2. Principios fundamentales de la estratigrafía.....	5
2.2.2.1. Principio de la superposición de estratos	5
2.2.2.2. Principio de la horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos.....	6
2.2.2.3. Principio del uniformismo y actualismo.....	6
2.2.2.4. Principio de la sucesión faunística o de la correlación.....	6
2.2.2.5. Principio de la simultaneidad de eventos.....	7
2.2.3. Objetivos de la estratigrafía.....	7
2.2.3.1. Identificación de los materiales.....	7
2.2.3.2. Delimitación de las unidades estratigráficas.....	7
2.2.3.3. Ordenación relativa de las unidades (sucesiones estratigráficas)	7
2.2.3.4. Interpretación genética de las unidades	7
2.2.3.5. Levantamiento de secciones estratigráficas	8
2.2.3.6. Correlación	8
2.2.3.7. Introducción de la coordenada tiempo.....	8
2.2.3.8. Análisis de cuencas	8
2.2.4. La estratificación	8
2.2.4.1. El estrato	9
2.2.4.2. Estratificación y laminación	9

	Pág.
2.2.4.3. Superficies de estratificación	9
2.2.4.4. Causas de la estratificación	9
2.2.5. Tipos de estratificación.....	10
2.2.5.1. Geometría de los estratos	10
2.2.5.2. Asociación de estratos.....	11
2.2.6. Medida de la estratificación	13
2.2.7. Facies.....	14
2.2.7.1. Tipos de facies	14
2.2.7.2. Distribución areal y temporal de las facies.....	15
2.2.8. Unidades litoestratigráficas	17
2.2.8.1. La formación como unidad fundamental	17
2.2.9. Forma de las unidades litoestratigráficas	19
2.2.9.1. Geometrías deducidas a partir de datos de campo	19
2.2.10. Sección estratigráfica	21
2.2.10.1. Sección estratigráfica local	21
2.2.10.2. Métodos de levantamiento.....	22
2.2.10.3. Representación gráfica	24
2.2.11. Bioestratigrafía	24
2.2.11.1. Biohorizontes	25
2.2.11.2. Biozonas.....	25
2.2.11.3. Valor estratigráfico de los Fósiles	26
2.2.11.4. Fósiles característicos	27
2.2.11.5. Sistemática o Taxonomía	29
2.2.12. Rocas sedimentarias carbonatadas	29
2.2.12.1. Clasificación de Folk 1959 - 1962.....	30
2.2.12.2. Clasificación según Dunham (1962).....	31
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	33
CAPÍTULO III	34
MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
3.1.1. Geográfica.....	34
3.1.2. Política	34
3.1.3. Accesibilidad	34

	Pág.
3.2. PROCEDIMIENTOS.....	36
3.2.1. Metodología	37
3.2.1.1. Población de estudio	37
3.2.1.2. Muestra.....	37
3.2.1.3. Unidad de análisis	37
3.2.2. Identificación de Variables.....	37
3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.2.3.1. Instrumentos y Equipos	38
3.2.3.2. Equipos.....	38
3.3. MARCO ESTRATIGRÁFICO.....	39
3.3.1. GRUPO PULLUICANA	39
3.3.1.1. Formación Yumagual.....	39
3.4. ESTRATIGRAFÍA LOCAL.....	39
3.4.1. Formación Yumagual	39
3.4.1.1. Miembro inferior.....	41
3.4.1.2. Miembro Medio	41
3.4.1.3. Miembro Superior	42
3.4.2. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL CENTRO POBLADO DE CHAMIS ALTO.....	43
3.4.2.1. Unidades litoestratigráficas del Miembro Inferior	43
3.4.2.2. Unidades litoestratigráficas del Miembro Medio	46
3.4.3. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL CENTRO POBLADO DE CARHUAQUERO	50
3.4.3.1. Unidades litoestratigráficas del Miembro Superior.....	51
3.4.4. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL CENTRO POBLADO DE MAJADAPAMPA	54
3.4.4.1. Unidades litoestratigráficas del Miembro Medio	55
3.4.4.2. Unidades litoestratigráficas del Miembro Superior.....	57
3.5. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS.....	60
3.5.1. Estratificación paralela	60
3.5.2. Estructura de carga (Load marks)	61
3.5.3. Bioturbación	62
3.5.4. Estratificación lenticular.....	63
3.5.5. Estromatolitos.....	63

	Pág.
3.6. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA.....	64
3.7. BIOESTRATIGRAFÍA.....	72
3.8. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS	76
CAPÍTULO IV	79
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	79
4.1. ANÁLISIS DE DATOS.....	79
4.2. ASOCIACIÓN DE FACIES Y AMBIENTE DEPOSITACIONAL.....	80
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	85
CAPÍTULO V	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1. CONCLUSIONES.....	86
5.2. RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS	89

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: ubicación geográfica del área de estudio.	34
Tabla 2: Accesibilidad del área de estudio	36
Tabla 3: Clasificación de la investigación	37
Tabla 4: Identificación de variables	37
Tabla 5: Instrumentos para la recolección de datos en campo	38
Tabla 6. Clasificación petrológica de la caliza Mudstone del Miembro Inferior.....	64
Tabla 7. Clasificación petrológica de la caliza Wakestone del Miembro Inferior	65
Tabla 8. Clasificación petrológica de la caliza Wackestone del Miembro Medio	66
Tabla 9. Clasificación petrológica de la caliza Packstone del Miembro Medio	67
Tabla 10. Clasificación petrológica de la caliza Mudstone del Miembro Medio	68
Tabla 11. Clasificación petrológica de la caliza Packstone del Miembro Superior	69
Tabla 12. Clasificación petrológica de la Arcillolita del Miembro Superior.....	71
Tabla 13. Clasificación petrológica de la caliza Wackestone del Miembro Superior	70
Tabla 14. Clasificación paleontológica del fósil Exogyra Mermeli del Miembro Inferior.....	72
Tabla 15. Clasificación paleontológica del fósil Gasteropoda Tylostoma del Miembro Inferior.....	72
Tabla 16. Clasificación paleontológica del fósil Ostrea Scyphax del Miembro Inferior.....	73
Tabla 17. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata del Miembro Inferior.....	73
Tabla 18. Clasificación paleontológica del fósil Bivalvia Ceratostreon sp del Miembro Medio	74
Tabla 19. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata del Miembro Medio	74
Tabla 20. Clasificación paleontológica del fósil Bivalvia Lophia del Miembro Superior	75
Tabla 21. Clasificación paleontológica del fósil Bivalvia Scyphax del Miembro Superior	75

	Pág.
Tabla 22. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata del Miembro Superior	76
Tabla 23. Clasificación paleontológica del fósil Exogyra Mermeli del Miembro Superior	76
Tabla 24. Clasificación paleontológica del fósil Ostrea Scyphax del Miembro Superior	77
Tabla 25. resultados de cada miembro presentando su espesor, litología, textura y facies de la zona de estudio.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1:Tipos más simples de geometrías de estratos	11
Figura N° 2: Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes.	12
Figura N° 3: Medición de la estratigrafía.	13
Figura N° 4: Esquema en el que se representa la relación entre los conceptos de litofacies, litotopo y unidad litoestratigráfica.	15
Figura N° 5: Tipos de cambios de facies	16
Figura N° 6: 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.	18
Figura N° 7: Formas de las unidades litoestratigráficas, deducidas a partir de datos de campo. Explicación en el texto.	20
Figura N° 8: Sección estratigráfica local elaborada mediante la aplicación del principio de la superposición. La sección estratigráfica es la expresión gráfica, a escala, de las unidades litoestratigráficas presentes en una región concreta, la ilustrada en el bloque diagrama.	21
Figura N° 9: Donde se muestra un bloque diagrama, con la disposición tridimensional de las unidades litoestratigráficas de una región determinada, la representación de las mismas en un mapa geológico en el que se marca la posición de los cortes estratigráficos en los que mejor se pueden levantar las secciones estratigráficas y la representación gráfica de las mismas (Fuente: Vera, 1994).	23
Figura N° 10: Ejemplo simple de una sección estratigráfica local, en la que se representa exclusivamente la columna litoestratigráfica (o litológica) a escala.	24

Figura N° 11: 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. Elaborado a partir de diferentes fuentes	28
Figura N° 12: Sistema de clasificación biológica moderna.	29
Figura N° 13: Espectro de las texturas de las rocas carbonatadas (Folk, 1962). La energía del agua en el área de sedimentación aumenta de izquierda a derecha, equivalente a los ambientes de cuenca – Plataforma somera – Zona de costa / Playas (Mackenzie, 1997).	31
Figura N° 14: Clasificación de las rocas carbonatadas. Según Dunham, (1962).	32
Figura N° 15: Ubicación Política de la investigación indicándose en la parte izquierda de color magenta el área de estudio.	34
Figura N° 16: Accesibilidad al área de investigación desde la ciudad de Cajamarca hasta el centro poblado de Chamis Alto.	35
Figura N° 17: Sección transversal de la plataforma y talud continental indicando el color rojo la depositación de la Formación Yumagual	81
Figura N° 18: Vista del ambiente nerítico la cual está dividido en zonas de profundidad, mostrando desde costa afuera a la cara de la costa de mayor a menor corriente de oleaje.	81
Figura N° 19: Gráfico de un ambiente de depositación de la Formación Yumagual.	83
Figura N° 20: Cuadro resumen de la interpretación de las facies de la Formación Yumagual.	84

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración N° 1: Visualización de la geometría de los estratos. A) Estratificación lenticular y B) Estructura de carga.	11
Ilustración N° 2: Visualización secuencias de estratocreciente y estratodecreciente de calizas y calizas nodulares.	12
Ilustración N° 3: Visualización de un Perfil longitudinal en el que se muestran los rangos de unidades litoestratigráficas del Grupo Crisnejas, mostrando la Fm. Chúlec y Pariatambo.	18
Ilustración N° 4: Visualización de un plano geológico seguidamente de una columna estratigráfica levantada en campo.	23
Ilustración N° 5: Vista del perfil geológico de la Fm. Yumagual presentando los miembros inferior, medio y superior.	40

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía N° 1: Vista panorámica en el centro poblado de Majadapampa donde se aprecia la ubicación de la Fm. Yumagual entre la Fm. Pariatambo y Fm. Mujarrún, Grupo Quiquiñan.....	40
Fotografía N° 2: Contacto entre la Fm. Pariatambo y el miembro inferior de la Fm. Yumagual en el centro poblado de Majadapampa.....	41
Fotografía N° 3: Contacto de los miembros medio y superior de la Fm. Yumagual vista en el centro poblado de Majadapampa.....	42
Fotografía N° 4: Contacto entre el miembro superior de la Fm. Yumagual y Fm Mujarrún, Grupo Quiquiñan.	42
Fotografía N° 5: Contacto entre la Fm. Pariatambo y la Fm. Yumagual, así mismo presentándose en la Fm. Yumagual.	43
Fotografía N° 6: Se observa Estratificación de calizas intercaladas con estratos de margas, presentando una secuencia directa. A) Muestra de mano de una marga de textura Mudstone. B) Muestra de mano de una roca caliza de textura Mudstone.	44
Fotografía N° 7: Intercalación de estratos de calizas masivas y calizas nodulares, presentando esta estratificación una secuencia inversa.	45
Fotografía N° 8: A) Estratos de calizas nodulares intercaladas con bloques de calizas masivas de textura Packstone, presentando una secuencia inversa. B) Se observa la estratificación de calizas nodulares. C) Se aprecia una caliza masivas de textura Packstone visto con la lupa de aumento de 20x. D) Se aprecia una muestra de mano de una roca caliza de textura Wackestone.	46
Fotografía N° 9: A) Intercalación de estratos con litología de calizas nodulares, margas y arcillitas, presentando una secuencia directa. B) se observa las estrías de una falla geológica inversa presente en el miembro medio. C) Se presente la intercalación de calizas nodulares.	47

Fotografía N° 10: A) Estratos de calizas textura Wackestone intercaladas con estratos de margas, presentando una secuencia directa. B) Biozona de Pectinata y Pecten presente en el miembro medio de la Fm. Yumagual. C) se aprecia una marga de textura Mudstone visto con lupa de aumento 20x.....	48
Fotografía N° 11: Estratos delgados de calizas nodulares intercaladas con niveles de arcillitas.....	49
Fotografía N° 12: Estratificación de margas de estratificación delgada intercaladas con calizas nodulares.	50
Fotografía N° 13: Contacto inferido (línea punteada roja) del miembro superior de la Fm. Yumagual con los depósitos piroclásticos de la secuencia Volcánica Atozaico.....	50
Fotografía N° 14: Intercalación de estratos de calizas masivas con calizas nodulares. A) Calizas nodulares de textura Wackestone visto con lupa de aumento de 20x. B) Muestra de mano de una caliza masiva de textura tipo Packstone.	51
Fotografía N° 15: Estratos de calizas intercaladas con niveles de arcillitas, en la parte izquierda se presenta una imagen de caliza de textura Wackestone con efervescencia al ácido clorhídrico.....	52
Fotografía N° 16: Estratos de calizas masivas intercaladas con niveles delgados de arcillitas.	53
Fotografía N° 17: Estratos de calizas con un espesor promedio de 40cm intercaladas con margas y una secuencia inversa.....	53
Fotografía N° 18: Estratos de margas intercaladas con lutitas, presentando una secuencia inversa.	54
Fotografía N° 19: Estratos de calizas nodulares con un grosor aproximado de 50m intercaladas con lutitas.....	55
Fotografía N° 20: Estratos de calizas de textura Packstone con un espesor de 1.10m a 1.50m, intercaladas con niveles de arcillitas, presentando una secuencia directa.	56
Fotografía N° 21: Estratificación de calizas nodulares intercaladas con estratos medianos de margas, presentando una secuencia inversa.	56
Fotografía N° 22: Estratos de margas intercaladas con arcillitas, presentando una secuencia inversa.	57

Fotografía N° 23: A) Estratos de calizas intercaladas con calizas nodulares presentando, presentando una secuencia directa. B) calizas fosilíferas con biozonas de clase bivalvia C.) Fósil de la especie Pectinata encontrada en el miembro superior.....	58
Fotografía N° 24: Estratos de calizas de textura Wackestone intercaladas con margas de textura Mudstone.....	59
Fotografía N° 25: Estratos de calizas masivas intercaladas con niveles delgados de arcillitas.	60
Fotografía N° 26: Estratificación paralela del miembro inferior de la Fm. Yumagual encontrada en el centro poblado de Chamis Alto.	61
Fotografía N° 27: Estructura de carga de intercalación de calizas, margas y arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual.....	62
Fotografía N° 28: Bioturbación encontrada en margas de la Formación Yumagual del Miembro Medio en el centro poblado de Majadapampa.	62
Fotografía N° 29: Estratificación lenticular del miembro inferior de la Fm. Yumagual en el centro poblado de Chamis Alto.	63
Fotografía N° 30: Estromatolitos dentro de las calizas de textura Packstone del miembro medio de la Fm. Yumagual.	63

LISTA DE ABREVIATURAS

Pág.	: Página.
CNE	: Código de Nomenclatura Estratigráfica
Ma	: Millones de Años
Fm	: Formación
GEI	: Guía Estratigráfica Internacional
BPA	: Biohorizonte de primera aparición
BUP	: Biohorizonte de última presencia
NASC	: Código Estratigráfico Norteamericano
UTM	: Universal Transverse Mercator
NW	: Noroeste
SE	: Sureste
SW	: Suroeste
msnm	: Metros sobre el nivel del mar.
Gpo.	: Grupo.
Ki – pa	: Formación Pariatambo
Ks – yu	: Formación Yumagual
Ks – qm	: Formación Quilquiñan – Mujarrum

RESUMEN

La investigación se realizó en los centros poblados de Chamis Alto, Carhuaquero y Majadapampa, analizándose la caracterización litoestratigráfica de la Formación Yumagual perteneciente a la edad del Albiano superior y cenomaniano inferior. Esta Formación no presenta estudios sobre el medio de depositación de las diversas litofacies en estos centros poblados por ende para comprender mejor las facies sedimentarias es necesario un estudio lito-bioestratigráfico. La metodología del procedimiento se basa en campo y en gabinete, realizándose en campo la caracterización lito-bioestratigráfica de la Formación Yumagual empleando el análisis cuantitativo para la medición de los estratos y espesor de las rocas, y un análisis cualitativo para la identificación de texturas, facies y estructuras sedimentarias, como también para la identificación de fósiles. En gabinete se realiza los planos geológicos, columnas lito-bioestratigráficas y perfiles geológicos. La Formación Yumagual presenta tres unidades litoestratigráficas: Miembros inferior presenta un espesor aproximado es de 250 m, su litología está compuesta por calizas (Mudstone y Wackestone) intercaladas con calizas nodulares (Wackestone) con niveles de arcillitas y estratos de margas. El miembro medio se caracteriza por presentar secuencia directa con mayores estratos de facies de calizas nodulares (Packstone), intercalados calizas gris parduscas (Wackestone y Packstone) y facies de margas intercaladas con calizas nodulares y arcillitas, este miembro tiene un espesor aproximado de 240 m. El Miembro superior tiene un espesor de 210 m, presenta bancos de caliza gris parduscas (Wackestone y Packstone) intercaladas con calizas nodulares (Packstone), con niveles de arcillitas y margas. Concluyendo que la Formación Yumagual presenta un ambiente nerítico de plataforma carbonatada con entornos de rampa media de mar abierto a rampa interna de aguas de poca profundidad.

Palabras claves: Facies sedimentarias, Formación Yumagual, ambiente de depositación, estructuras sedimentarias, litobioestratigrafía

ABSTRACT

The research was carried out in the population centers of Chamis Alto, Carhuaquero and Majadapampa, analyzing the lithostratigraphic characterization of the Yumagual Formation belonging to the Upper Albian and Lower Cenomanian age. This Formation does not present studies on the means of deposition of the various lithofacies in these populated centers, therefore, to better understand the sedimentary facies, a litho-biostratigraphic study is necessary. The methodology of the procedure is based on the field and in the office, with the litho-biostratigraphic characterization of the Yumagual Formation being carried out in the field using quantitative analysis for the measurement of the strata and thickness of the rocks, and a qualitative analysis for the identification of textures, facies and sedimentary structures, as well as for the identification of fossils. In the office, geological plans, litho-biostratigraphic columns and geological profiles are made. The Yumagual Formation presents three lithostratigraphic units: Lower members have an approximate thickness of 250 m, their lithology is composed of limestone (mudstone and wackestone) interspersed with nodular limestone (wackestone) with levels of claystone and marl strata. The middle member is characterized by presenting a direct sequence with greater strata of nodular limestone facies (Packstone), intercalated gray-brownish limestone (Wackestone and Packstone) and marl facies intercalated with nodular limestone and claystone. This member has an approximate thickness of 240 m. The Upper Member has a thickness of 210 m, presents banks of brownish gray limestone (Wackestone and Packstone) interspersed with nodular limestone (Packstone), with levels of claystones and marls. Concluding that the Yumagual Formation presents a neritic carbonate platform environment with environments from a middle ramp of open sea to an internal ramp of shallow waters.

Keywords: Sedimentary facies, Yumagual Formation, depositional environment, sedimentary structures, lithobiostratigraphy.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la bioestratigrafía es importante debido a que nos ofrece conocer la estratigrafía y la paleontología que se ocupa en la distribución de fósiles conservados en estratos que existieron hace millones de años sobre la tierra, por lo que en la actualidad constituyen aspectos de valor útil en estudios lito-bioestratigráficos, producto de ello nació el interés de investigar la Formación Yumagual debido a que existen diferentes estructuras sedimentarias y variedad de contenido fosilífero.

La formación Yumagual en los sectores de Chamis Alto - Carhuaquero y Majadapampa, carece de investigaciones a detalle sobre lito-bioestratigrafía por lo que surge la necesidad de realizar la investigación a nivel local para tener un mejor estudio lito-bioestratigráfico, la cual contribuirá para conocer e interpretar a cada una de las facies que fueron depositadas y las diversas secuencias litológicas que tuvieron lugar en la zona de estudio.

Por tanto, se formuló la siguiente pregunta: ¿Cuál es la lito-bioestratigrafía de la Formación Yumagual en los sectores de Chamis Alto - Carhuaquero y Majadapampa?

La hipótesis que se plantea para la investigación es que las características lito-bioestratigráficas de la Formación Yumagual en los sectores de Chamis Alto - Carhuaquero y Majadapampa, evidencian un ambiente nerítico de plataforma carbonatada somera distal, que se depositó un mar de poca profundidad, con relativa intranquilidad, la cual está formada por rocas sedimentarias calcáreas, correspondientes al sistema de edad Albiano superior y Cenomaniano inferior.

La justificación de este estudio es que pretende contribuir con el mejor entendimiento e interpretación de la lito-bioestratigrafía de la Formación Yumagual en los sectores de Chamis Alto - Carhuaquero y Majadapampa, analizando las condiciones del ambiente sedimentario que se evidencian en la zona de estudio.

Estos resultados nos permitirán identificar su litología, estructuras sedimentarias, facies y contenido fosilífero lo cual servirá como línea base para futuras

investigaciones realizadas en la zona, aportando información estratigráfica actualizada de la Formación Yumagual.

Como objetivo general Caracterizar la lito-bioestratigrafía de la Formación Yumagual en los sectores de Chamis Alto - Carhuaquero y Majadapampa, y como objetivos específicos elaborar columnas lito-bioestratigrafías, realizar una descripción lito-bioestratigrafía, identificar las litofacies y biofacies e identificar las estructuras sedimentarias

La estructura de la investigación se ha basado en V capítulos principales: En el CAPÍTULO II, presentamos al marco teórico, donde se menciona a los antecedentes relacionados a la investigación y la definición de términos básicos. CAPÍTULO III, presentamos los materiales y métodos donde se trata la ubicación de la investigación, los procedimientos donde se describe paso a paso el proceso realizado para la investigación, definición de variables, técnicas, instrumentos y equipos. CAPÍTULO IV, corresponde al análisis y discusión de resultados para poder contrastar con la hipótesis, llegando de esa manera a concluir si la hipótesis es correcta. CAPÍTULO V, corresponde a las conclusiones que se han llegado teniendo en cuenta los objetivos planteados inicialmente, las recomendaciones para llevar una mejor investigación y las referencias bibliográficas usadas en el desarrollo del proyecto de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Internacionales

Carvajal (2015). Estratigrafía Secuencial del Cretácico Superior (Formaciones Toro Toro y el Molino) en los sinclinales del Río Caine y Toro Toro. Departamento de Potosí. La Paz Bolivia. Se llega a las siguientes conclusiones: El Cretácico Superior está representado por las Formaciones Toro Toro y El Molino, las cuales mantienen una relación concordante, aunque exhiben diferencias notables en su composición litoestratigráfica. La sección Quebrada Cuchirawaycko presenta un mayor espesor y una mejor exposición que la sección Puente La Viña, por lo que se consideró como sección guía y modelo para la interpretación general del estudio. El análisis de estratigrafía secuencial permitió reconocer sucesiones sedimentarias, paleoambientes y secuencias depositacionales, contribuyendo a una interpretación más precisa de la evolución estratigráfica y paleoambiental del intervalo analizado.

Casal et al. (2015). Análisis Estratigráfico y Paleontológico del Cretácico Superior en la Cuenca del Golfo San Jorge: Las características litológicas, estratigráficas y paleontológicas del registro más reciente del Grupo Chubut permitieron proponer el establecimiento de una nueva unidad litoestratigráfica dentro de dicho grupo. Asimismo, el contenido paleontológico, representado por restos de dinosaurios, posibilitó determinar una edad comprendida entre el Coniaciano y el Maastrichtiano, aportando información relevante para la reconstrucción temporal y paleoambiental de la secuencia sedimentaria.

Navarro (2014). Record of Albion to early Cenomanian environmental perturbation in The Eastern Sub-Equatorial Pacific. Hace una comparación de la estratigrafía en base a isótopos de carbono obtenido en Perú con secciones publicadas del Pacífico central y occidental, el Atlántico occidental y el norte y oeste de Tethys, el cual indica la naturaleza global de los patrones de isótopos descritos.

Locales

Lagos y Quispe (2007). Aportes al análisis de Cuencas Sedimentarias en los alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca - XII Congreso Peruano de Geología. En este trabajo definieron como fue el comportamiento de la cuenca occidental, en el proceso de relleno sedimentario desde el Barriasiano -Valanginiano (Cretácico Inferior) hasta el Santoniano-Campaniano (Cretácico Superior).

Lelys (2021). Bioestratigrafía de la Formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco. Llega a determinar: la litología y facies de la Formación Yumagual son similares en estas áreas, aunque el tipo de secuencia, espesor de los estratos y extensión en sus tres miembros (inferior, medio y superior) son diferentes.

Julca (2022). Caracterización Lito-bioestratigráfica de la Formación Pariatambo en el caserío de Carahuanga del distrito de Baños del Inca. Determina que existe correspondencia entre las unidades litoestratigráficas y características bioestratigráficas de la Formación donde se evidencia diferentes estructuras sedimentarias.

Medina (2014). Estratigrafía Secuencial de la Formación Yumagual en el distrito minero de Hualgayoc- Cajamarca. Realiza la descripción detallada de la formación Yumagual de esta localidad determinando que existen tres secuencias estratigráficas: calizas nodulosas, calizas fosilíferas intercaladas con arcillitas, margas y calizas grises gruesas poco marmolizadas , caracterizó al ambiente de depositación para la Formación Yumagual dentro del área estudiada, que estaría dado por un mar de poca profundidad que favoreció la formación de los bancos potentes de calizas y la vida de micro y macro organismos con algunas facies regresivas.

Mendoza (2021). Correlación litoestratigráfica de la Formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco. Determina que la formación pertenece a un ambiente marino nerítico de plataforma carbonatada con entornos de rampa media de mar abierto y de rampa interna con aguas poco profundas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Estratigrafía

Según Grabau, en 1913, en su obra *Principles Of Stratigraphy*, define en sentido amplio, como «la parte inorgánica de la Geología Histórica o el desarrollo a través de las sucesivas edades geológicas del almacén rocoso de la Tierra o litosfera». De la misma manera en este mismo texto se puede también leer que «el estudio de la génesis de las rocas estratificadas es Estratigrafía». La primera es poco precisa, no delimitando claramente el dominio de la Estratigrafía, y la segunda abarcaría sólo el campo de la Sedimentología.

En la actualidad la Estratigrafía se puede definir 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. Forma, por tanto, el soporte de la Geología Histórica, que, considerada como etapa descriptiva, tendría en la Estratigrafía la etapa de interpretación donde destaca el papel de la Sedimentología.

2.2.2. Principios fundamentales de la estratigrafía

Los estudios estratigráficos se basan en una serie de razonamientos o principios similares a las leyes que rigen otras ciencias, aunque sin tener el mismo carácter general que aquéllas. Son los siguientes:

2.2.2.1. Principio de la superposición de estratos

Aunque difundido y generalizado por Hutton, fue Steno (1669) el primero en observar el hecho de que, en una serie estratigráfica, poco o nada deformada, el orden de superposición de las capas es el mismo de su depósito; es decir, toda capa superpuesta a otra es más moderna que aquélla. Este principio se aplica también respecto a los componentes de la roca y a la sucesión de deformaciones. Presenta algunas limitaciones derivadas de determinados fenómenos geológicos, tales como algunos procesos erosivo-sedimentarios de las cuencas fluviales, deformaciones tectónicas intensas, corrientes de turbidez. Berthault 2002, realiza experimentos de sedimentación de mezclas heterogéneas de sedimentos y plantea que el principio de superposición (y otros dos de Steno) no se cumplen siempre — sobre todo cuando hay corrientes, granulometría variable, etc (Guy Berthault 2002).

2.2.2.2. Principio de la horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos

Los flujos hiperpícnicos fueron los primeros flujos gravitacionales de sedimentos derivados de la tierra depositados en lagos (Forel 1885) y en entornos marinos profundos (Heezen et al. 1964), y básicamente es un importante mecanismo de transferencia de sedimentos a cuencas lacustres y marinas asociadas. En la actualidad, los flujos hiperpícnicos y sus depósitos relacionados (hiperpícnitas) ha mejorado considerablemente gracias a un esfuerzo conjunto en el estudio de depósitos antiguos y recientes, complementado con observaciones oceanográficas detalladas, experimentos de canal y modelado matemático. (Shanmugam 2018).

2.2.2.3. Principio del uniformismo y actualismo

Varios geólogos lo consideran como un solo principio, pero, Vysotskii (1961), señala que son dos diferentes principios con conceptos distintos. Según el Uniformismo las leyes y procesos naturales han permanecido uniformes a lo largo del tiempo geológico; es una hipótesis de un desarrollo Cíclico de la Naturaleza simplista. Para el Actualismo los fenómenos que hoy están actuando han producido los mismos efectos en el pasado; por el cual el estudio de los fenómenos actuales y sus efectos se utilizan como base de interpretación del pasado geológico y como predicción del futuro. La práctica geológica moderna combina el actualismo con una perspectiva crítica, aceptando que algunos eventos pasados (como catástrofes o procesos tectónicos excepcionales) pueden no tener análogos directos actuales. Dresow propone un actualismo flexible, útil para reconstrucciones estratigráficas y paleoambientales en sistemas complejos como márgenes activas o cuencas de subsidencia. (Dresow 2023).

2.2.2.4. Principio de la sucesión faunística o de la correlación

El descubrimiento de que los diferentes grupos de organismos fósiles no se distribuyen de una manera casual, sino que se suceden, en el tiempo, en un orden determinado, se debe al inglés Smith. Sus observaciones, realizadas a finales del siglo XIX, le permitieron enunciar el principio de la superposición faunística, según el cual cada capa o grupo de ellas puede reconocerse por su contenido biológico o, en otras palabras, las capas que tienen el mismo contenido fosilífero son de la misma edad, aunque su litología difiera.

Este principio es básico en Estratigrafía, ya que permite el establecimiento de correlaciones basadas en criterios biológicos, así como en Geología, Histórica clásica, al permitir una datación de los materiales sedimentarios. En la actualidad existen algunas tendencias restrictivas a la aplicación de este principio.

2.2.2.5. Principio de la simultaneidad de eventos

Se basa en la doctrina del catastrofismo actualista (Hsü, 1983; Vera, 1990) o nuevo uniformismo (Berggren y Van Couvering, 1984; Ager, 1993). 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. Estos eventos pueden quedar reflejados en los estratos de muy diferentes localidades y constituyen un excelente criterio de correlación, a veces a escala mundial (Vera, 1994).

2.2.3. Objetivos de la estratigrafía

Según Vera (1994), los objetivos de cualquier investigación estratigráfica, y en consecuencia de la estratigrafía como ciencia pueden resumirse en los siguientes.

2.2.3.1. Identificación de los materiales

Consiste en el reconocimiento y la identificación de los diferentes tipos de materiales estratificados, conociendo su litología, texturas, estructuras propiedades geofísicas y geoquímicas y contenido fósil. El conjunto de estas propiedades es lo que se conoce como facies.

2.2.3.2. Delimitación de las unidades estratigráficas

Consiste en delimitar volúmenes de rocas sedimentarias en función a su litología (unidades estratificadas). Estas unidades serán representadas sobre mapas topográficos mediante cartografía litoestratigráfica.

2.2.3.3. Ordenación relativa de las unidades (sucesiones estratigráficas)

Se estudia la relación entre cada dos unidades litoestratigráficas superpuestas, deduciendo la continuidad o discontinuidad del proceso sedimentario entre ellas.

2.2.3.4. Interpretación genética de las unidades

Establecida la trama de las unidades litoestratigráficas, se aplica el principio del uniformismo, comparando los datos observados en cada una de ellas y los conocidos

en los diferentes medios sedimentarios actuales. Se trata de un objetivo con entidad propia del que se ocupa la sedimentología y que pretende llegar a conocer las condiciones sedimentarias reinantes desde el inicio del depósito de los materiales más antiguos hasta la sedimentación de los más modernos, del área estudiada.

2.2.3.5. Levantamiento de secciones estratigráficas

Consiste en la ordenación temporal de todas las unidades litoestratigráficas presentes en el área concreta, desde la más antigua a la más moderna, estableciendo la denominada sección estratigráfica local. Por Comparación con secciones estratigráficas de otras localidades o áreas cercanas y mediante observaciones de la geometría de los cuerpos de rocas estratificadas se deducen, también, las relaciones laterales entre las unidades.

2.2.3.6. Correlación

Una vez establecidas las secciones estratigráficas de diferentes áreas se establece la equivalencia de los diferentes estratos y, por su contenido fósil o por las propiedades físicas de determinados niveles se dibujan isócronas en las distintas secciones.

2.2.3.7. Introducción de la coordenada tiempo

Se pretende disponer del mayor número de datos posibles para fijar la edad de los materiales. A partir de los datos bioestratigráficos y, en la medida de lo posible, de los datos radiométricos y magnetoestratigráficos. Con ello se delimitan las unidades bioestratigráficas y cronoestratigráficas.

2.2.3.8. Análisis de cuencas

Objetivo final de cualquier trabajo estratigráfico. Pretende conocer, por una parte, la geometría y génesis de cada cuenca sedimentaria y por otra parte la localización espacial y temporal de cada una de las unidades estratigráficas que se pueden diferenciar en los materiales estratificados depositados en ella.

2.2.4. La estratificación

La estratificación sedimentaria en la teoría moderna desde una perspectiva cuantitativa, integrando los procesos hidrodinámicos de canales fluviales y planicies de inundación en la formación de la arquitectura estratigráfica. A través de un enfoque basado en el balance de masa sedimentaria, explica cómo la interacción

entre el transporte, almacenamiento y subsidencia controla la generación, preservación y geometría de los estratos. (Straub 2023).

2.2.4.1. El estrato

Según Otto (1938). Es una unidad de sedimentación que se ha depositado esencialmente bajo condiciones físicas constantes, y la de McKee y Weir (1953). Es un nivel simple de litología homogénea o gradacional, depositado de forma paralela a la inclinación original de la formación. Está separado de los estratos adyacentes por superficies de erosión, no sedimentación, o cambio abrupto en el carácter.

2.2.4.2. 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).

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).

2.2.4.3. Superficies de estratificación

Las superficies de estratificación constituyen los límites superior e inferior de cada estrato y representan una pequeña interrupción en la sedimentación, cuya duración puede ser muy variable; si la interrupción abarca un lapso de tiempo corto y no se ha producido erosión, se puede afirmar que el plano de estratificación superior de un estrato es la base sobre la que se sedimenta el estrato inmediatamente más moderno. (Corrales et al. 1977).

2.2.4.4. Causas de la estratificación

la estratificación se produce por efecto de la interacción compleja de las condiciones físicas, químicas y/o biológicas que regulan la sedimentación.

Es una propiedad inherente a la sedimentación, de manera que la casi totalidad de las rocas sedimentarias presentan este dispositivo. Las únicas excepciones son las rocas formadas por organismos constructores (arrecifes de corales), rocas formadas

a partir de morrenas glaciales y algunas rocas sedimentarias de precipitación química masivas.

Son muy diversas las causas que producen la estratificación, pero se pueden resumir en dos: a) Interrupciones en la sedimentación y b) cambios en las condiciones de sedimentación. (Vera,1994).

2.2.5. Tipos de estratificación

Según Vera (1994), los criterios que pueden servir para tipificar la estratificación son diversos, aunque esencialmente se basan en dos aspectos fundamentales: la geometría de los estratos individuales y los rasgos distintivos de las asociaciones de estratos sucesivos.

2.2.5.1. Geometría de los estratos

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.

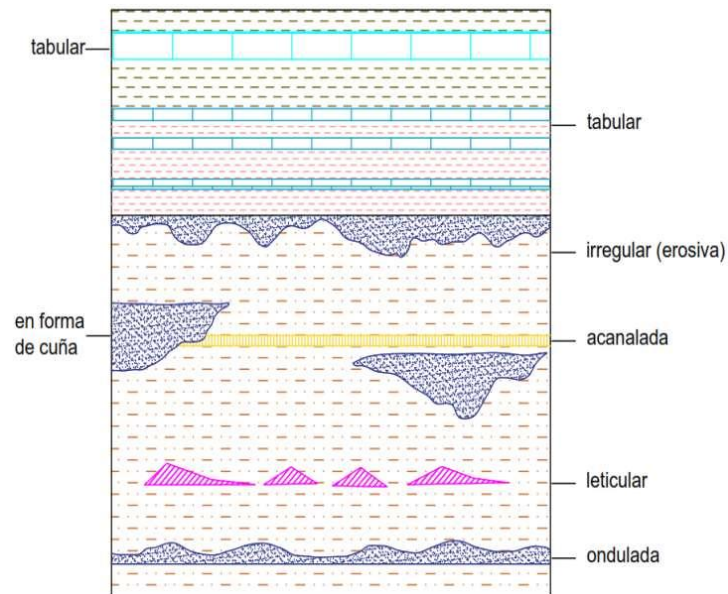


Figura N° 1: Tipos más simples de geometrías de estratos

Fuente: Adaptado de Vera (1994).



Ilustración N° 1: Visualización de la geometría de los estratos. A) Estratificación lenticular y B) Estructura de carga.

Fuente: Adaptado de Mendoza (2021).

2.2.5.2. Asociación de estratos

Cuando se analizan conjuntos de estratos superpuestos, se pueden realizar diversos tipos de clasificaciones basadas en criterios descriptivos, que en gran parte representan diferentes tipos de génesis.

Un primer aspecto a considerar es la ordenación de espesores de los estratos individuales en el conjunto de estratos sucesivos. En la figura se esquematizan las diversas posibilidades de ordenación de espesores y se dan los siguientes nombres: **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 conjunto

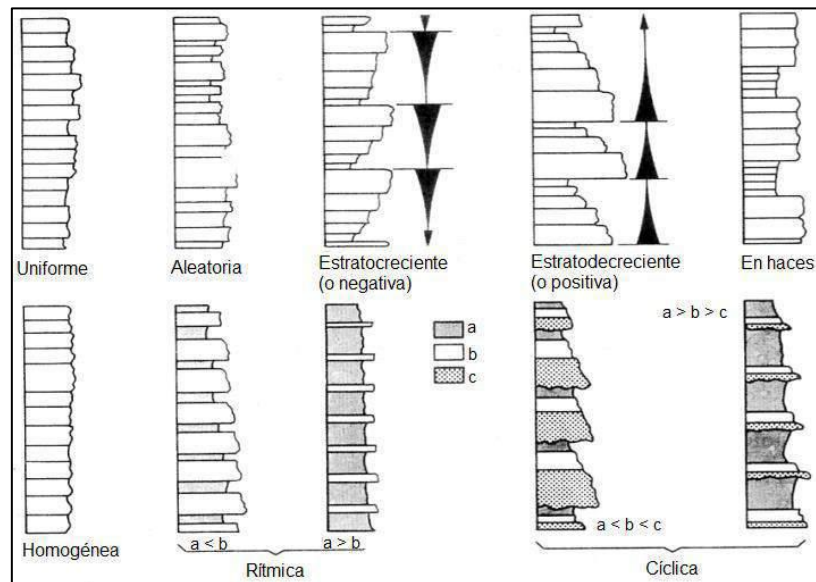


Figura N° 2: Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes.

Fuente: Tomado de Vera (1994).

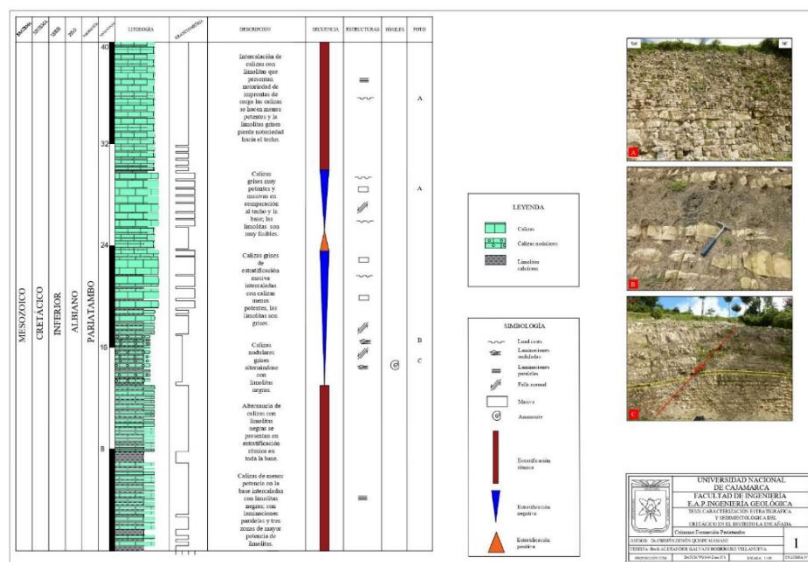


Ilustración N° 2: Visualización secuencias de estratocreciente y estratodecreciente de calizas y calizas nodulares.

Fuente: Adaptado de Rodríguez (2022).

2.2.6. Medida de la estratificación

Estudiando la estratificación bajo su aspecto geométrico, es posible realizar en los estratos la medida de tres valores absolutos: Dirección, Buzamiento y Espesor.

Dirección es el ángulo que forma con el norte geográfico, la línea de intersección de la superficie de estratificación con un plano horizontal.

Buzamiento es el ángulo que forma la superficie de un estrato con la horizontal, medido en un plano perpendicular a la dirección.

Tanto la dirección como el buzamiento, son datos que se utilizan sobre todo en cartografía geológica.

El espesor de un estrato, es la distancia entre los planos de estratificación limitantes, medida perpendicularmente a ellos.

Según esto, el espesor de un conjunto de rocas estratificadas, será la distancia entre sus límites, medida perpendicularmente a la estratificación.

La medida realizada de esta forma, representa el espesor actual de los materiales sedimentados durante un lapso de tiempo geológico. (Corrales et al. 1977).

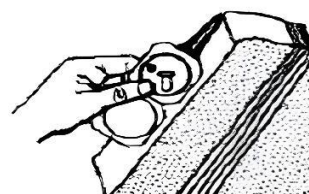
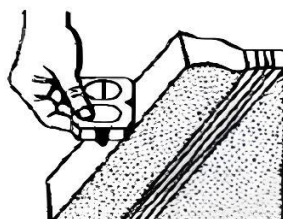
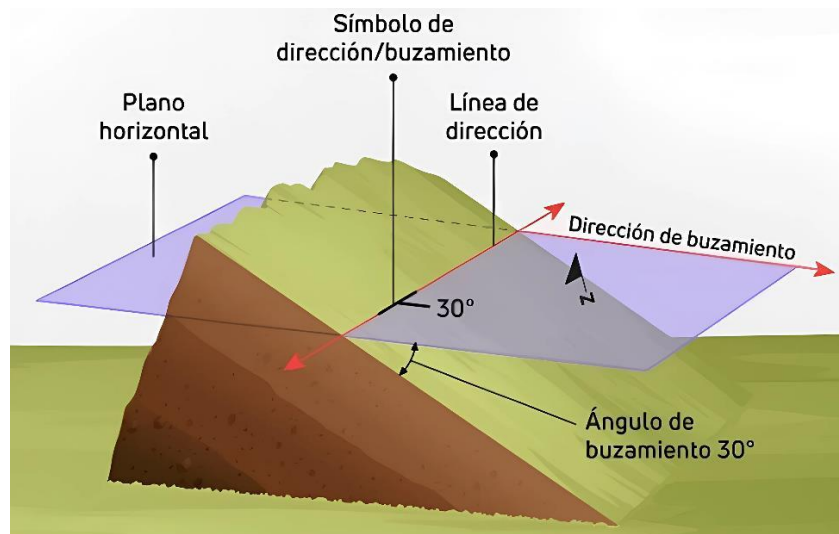


Figura N° 3: Medición de la estratigrafía.

Fuente: Tomado de Navarrete (2014).

2.2.7. 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».

De acuerdo con Selley (1970), definiremos una facies 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.

Las facies individuales son la base de la interpretación sedimentológica y deben agruparse en asociaciones que comparten una génesis común, reflejando un ambiente o proceso sedimentario específico. Actualmente, existen asociaciones de facies bien caracterizadas para diversos entornos sedimentarios. La sucesión vertical de estas asociaciones permite predecir e interpretar secuencias de rocas antiguas, comparando sus parámetros con los de depósitos actuales, cuyo entorno y procesos formativos conocemos, para inferir los mecanismos del pasado. (Arche,2010)

2.2.7.1. Tipos de facies

Dado que son diversos los aspectos monográficos que se pueden observar en las rocas (o conjuntos de rocas) se puede hablar de varios tipos de facies. Se usan términos restrictivos del tipo de propiedades (litofacies y biofacies) o de la escala de observación (microfacies).

Litofacies se alude al conjunto de características litológicas de unos materiales y a las condiciones físico-químicas reinantes durante su depósito. Ya se ha marcado la diferencia entre facies, medios sedimentarios y unidades estratigráficas. Se ha indicado igualmente que dentro de un medio sedimentario se pueden distinguir áreas' con diferente litología, las que se denomina litotopos. Dentro de un litotopo las litofacies son uniformes (Corrales et al, 1977).

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

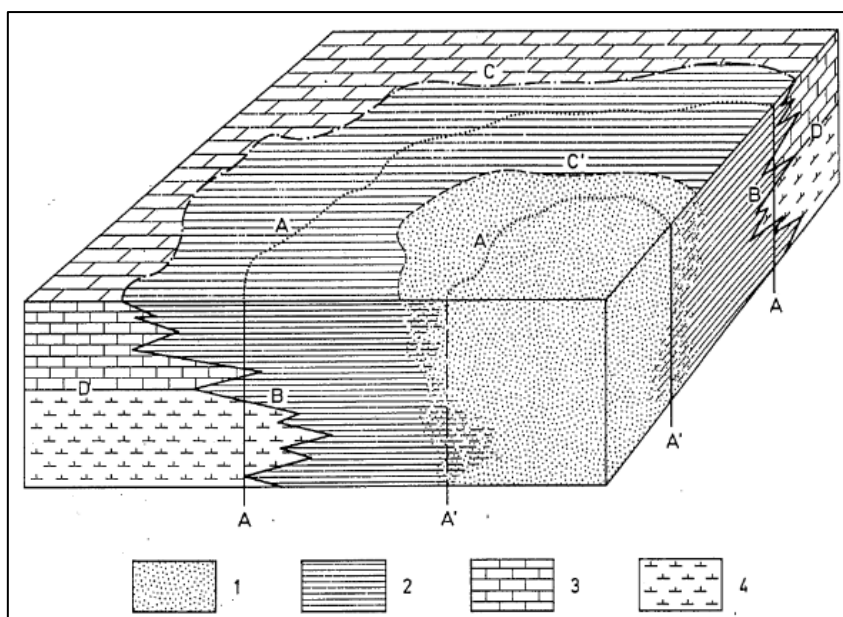


Figura N° 4: Esquema en el que se representa la relación entre los conceptos de litofacies, litotopo y unidad litoestratigráfica.

Fuente: Tomado de Corrales et al (1977).

Biofacies. El término biofacies se refiere a los aspectos paleontológicos y a las condiciones biológicas presentes durante el depósito, en contraste con los aspectos litológicos. Ejemplos de biofacies incluyen "facies de gasterópodos," "facies de carofitas," y "facies de radiolarios."

Asociación de facies. Se llama asociación de facies a la distribución ordenada de varias facies elementales, genéticamente relacionadas. Una asociación de facies debe cumplir dos condiciones: 1) Que se trate de facies que se encuentren juntas, y 2) Que estén genéticamente (ambientalmente) relacionadas entre sí. Al estudiar secciones estratigráficas detalladas, las asociaciones de facies se reconocen a partir de su expresión vertical, a la que se llama secuencia de facies o secuencia elemental, la cual consiste en un módulo formado por la superposición vertical de dos o más facies genéticamente relacionadas que se repite periódicamente (Vera,1994).

2.2.7.2. Distribución areal y temporal de las facies

Toda facies determinada tiene unos límites definidos, en el espacio (arealmente) y en el tiempo (cronoestratigráficamente) cuyas dimensiones pueden ser extraordinariamente diferentes de unos casos a otros. Arealmente los límites de una

litofacies son los límites del litotopo y los de las biofacies los del biotopo, los cuales presentan extensiones muy variables; en definitiva, la extensión areal de unas facies viene regulada por la superficie que ocupase el sector del medio sedimentario, con características homogéneas, en el que tuvo lugar su depósito (Vera, 1994).

Cambios verticales de facies

Los cambios verticales son los que provocan la superposición de materiales de diferentes propiedades (litologías y/o diferente contenido fosilífero) (Vera, 1994).

Cambios laterales de facies

Los cambios laterales de facies (en especial los de litofacies) pueden ser bruscos de manera que a partir de una línea neta los materiales tengan litofacies totalmente diferentes o graduales de manera que exista una franja de transición gradual entre dos litofacies (Vera, 1994).

Cambios oblicuos de facies

Uno de los aspectos más interesantes del estudio de los cambios de facies es la relación de los mismos con respecto a las líneas asincrónicas. Y la manera más simple de reconocer estas líneas isócronas consiste en considerar las superficies deposicionales como tales. El cambio oblicuo de facies se caracteriza por el paso lateral y vertical, simultáneamente, de una facie a otra, el cual ocurre en una franja o sector que corta oblicuamente a dichas superficies. (Vera, 1994).

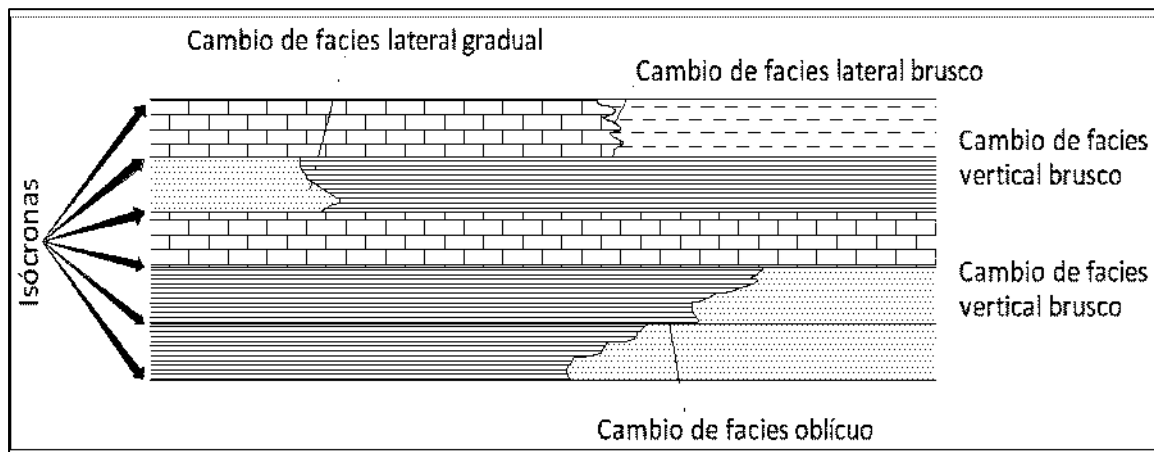


Figura Nº 5: Tipos de cambios de facies

Fuente: Tomado de Vera (1994).

2.2.8. Unidades litoestratigráficas

Son conjuntos de rocas estratificadas delimitadas en el espacio, por sus características litológicas.

Una unidad litoestratigráfica puede tener litofacies homogéneas o heterogéneas. Así una formación puede corresponder al volumen ocupado por los materiales de una litofacies homogénea y uniforme (por ejemplo: dolomías de grano fino) o de una litofacies heterogénea (alternancias de areniscas y lutitas).

Los cambios de litofacies pueden servir para marcar los límites de unidades litoestratigráficas y su jerarquización. Un cambio brusco se hará coincidir con un límite de una unidad litoestratigráfica de rango mayor, mientras que un cambio gradual se usará para diferenciar unidades de rango inferior.

En otros casos los límites de la unidad litoestratigráfica son superficies de erosión, por tanto, sin que haya un cambio de litofacies. El término de unidad litoestratigráfica es aplicado, no solamente a materiales sedimentarios, sino también, a rocas volcánicas, interestratificadas y a rocas metamórficas (Corrales et al. 1977).

2.2.8.1. La formación como unidad fundamental

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).

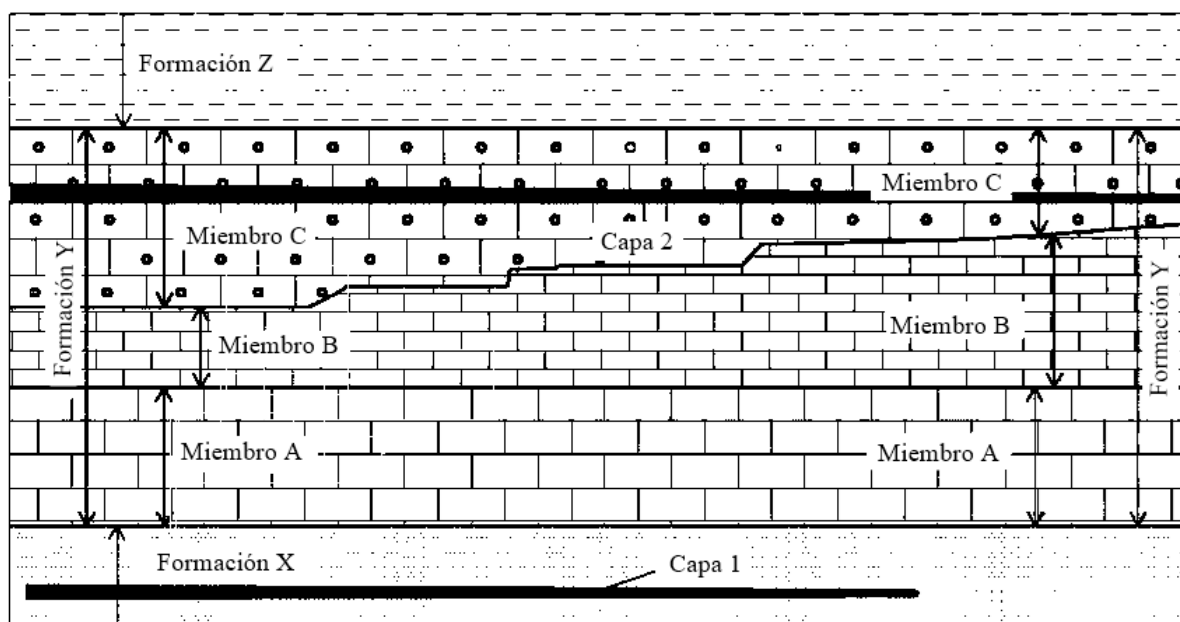


Figura N° 6: Gráfico en el que se muestran los rangos de unidades litoestratigráficas. Se representan tres formaciones (X, Y, Z) y en una de ellas (Formación Y) se diferencian tres miembros (A, B, C). Se muestran dos ejemplos de capa: la capa 1 es una unidad litoestratigráfica de rango menor diferenciada directamente dentro de una formación, mientras que la capa 2 es una unidad, del menor rango, dentro de un miembro.

Fuente: Tomado de Vera (1994).

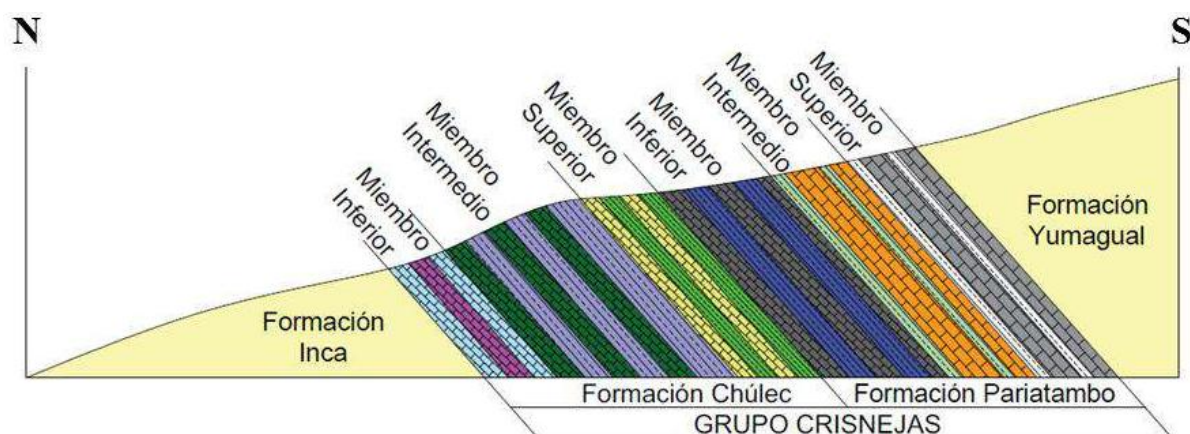


Ilustración N° 3: Visualización de un Perfil longitudinal en el que se muestran los rangos de unidades litoestratigráficas del Grupo Crisnejas, mostrando la Fm. Chulec y Pariatambo.

Fuente: Adaptado de López (2021).

2.2.9. Forma de las unidades litoestratigráficas

Según Valera (1994), se refiere a todos los tipos de unidades litoestratigráficas, formales e informales, por tanto, a todos los volúmenes de rocas estratificadas delimitados por sus litofacies.

2.2.9.1. Geometrías deducidas a partir de datos de campo

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 (Vera, 1994).

Unidades con techo y muro planos y paralelos. Este tipo geométrico caracteriza unidades que mantienen su espesor en casi toda su extensión (Figura 7). 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)

Unidades con techo plano y muro irregular. 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 (Figura 7). El techo por el contrario es plano y presenta un cambio de facies gradual (Vera, 1994).

Unidades con techo plano y muro convexo. Son las llamadas unidades lenticulares o semilenticulares que se caracterizan por tener una escasa continuidad lateral (Figura 7). La relación entre la longitud y el espesor es inferior a 50. Son frecuentes en depósitos en medios sedimentarios muy reconocidos como lagos pequeños o charcas (Vera, 1994).

Unidades con variaciones laterales de espesor. Son 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 (Figura 7). Un segundo tipo son las unidades con formas irregulares en las que la potencia varía de unos puntos a otros (Vera, 1994)

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. Un segundo tipo son las unidades con forma de montículo, con muro plano y techo convexo propias de crecimientos orgánicos (arrecifales). Un tercer tipo son las unidades con forma de abanico, 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)

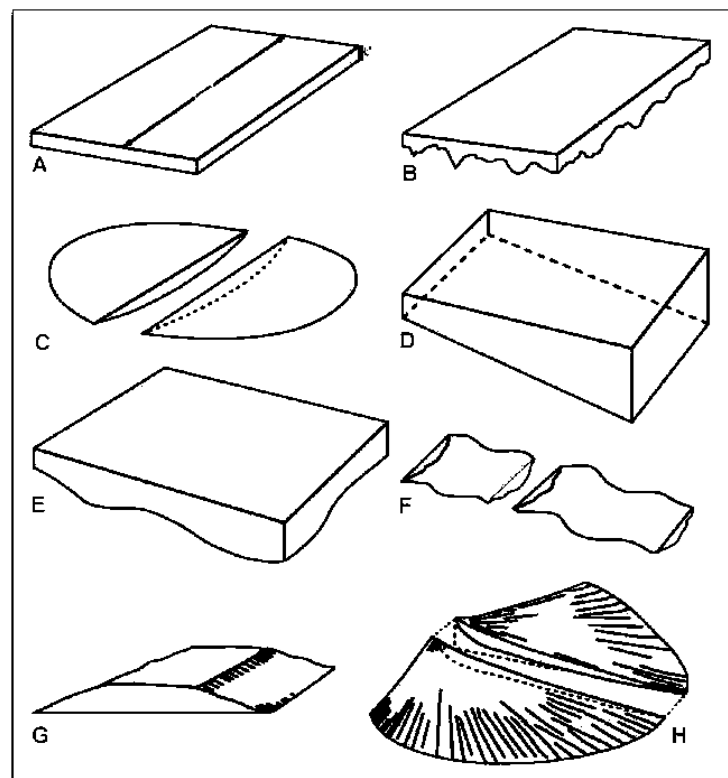


Figura N° 7: Formas de las unidades litoestratigráficas, deducidas a partir de datos de campo. Explicación en el texto.

Fuente: Tomado de Vera (1994).

2.2.10. Sección estratigráfica

Una sección estratigráfica es la sucesión cronológica de todas las unidades estratigráficas presentes en una región, ordenadas de más antigua a más moderna, esto es, en el orden en el que ocurrió su depósito. Por extensión se utiliza dicho término a la representación gráfica, a escala, de la totalidad de las unidades estratigráficas, ordenadas temporalmente.

Algunos autores (Bateas y Jackson, 1987), utilizan el término secuencia estratigráfica como sinónimo de sección estratigráfica; sin embargo, se aconseja evitar este uso ya que el término secuencia, se utiliza con acepciones muy diferentes. (Vera, 1994).

2.2.10.1. Sección estratigráfica local

La sección estratigráfica local es la ordenación temporal de las diferentes unidades litoestratigráficas de un área concreta, bien que afloren en ella o bien que se reconozcan mediante el uso de técnicas de geología del subsuelo (geofísica y sondeos).

Una sección estratigráfica local se representa con un gráfico, a escala, en el que cada unidad litoestratigráfica se dibuja con los signos convencionales de sus litologías y al que con frecuencia se añaden los datos relativos a texturas, estructuras sedimentarias y contenido fosilífero, de manera que en la mínima extensión de dibujo se exprese el máximo de datos de los materiales, lo que facilita su posterior interpretación. (Vera, 1994).

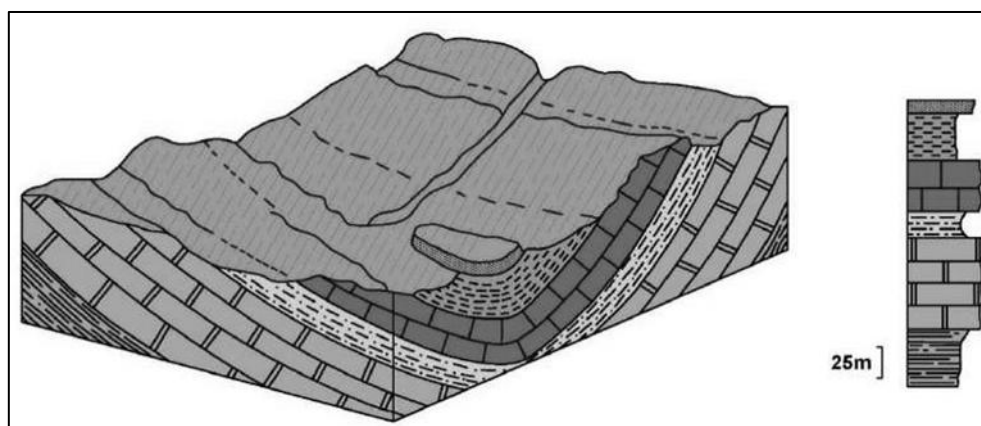


Figura Nº 8: Sección estratigráfica local elaborada mediante la aplicación del principio de la superposición. La sección estratigráfica es la expresión gráfica, a escala, de las unidades litoestratigráficas presentes en una región concreta, la ilustrada en el bloque diagrama.

Fuente: Tomado de Vera (1994).

2.2.10.2. Métodos de levantamiento

Los métodos de levantamiento de secciones estratigráficas serán claramente diferentes cuando los materiales afloran en superficie que cuando se trate de materiales que no afloran y que solamente se conocen por datos de subsuelo (sísmica, sondeos y digrafías).

Las unidades litoestratigráficas, que afloran en una región y se diferencian a partir de sus litofacies, pueden ser observadas, medidas y muestreadas directamente sobre el terreno. La extensión superficial que ocupa cada una de las unidades sobre el relieve actual se reconoce sobre una fotografía aérea y posteriormente se representa sobre un mapa topográfico, elaborando con ello un mapa geológico, en el cual cada unidad queda reflejada con un color o trama diferente con la indicación de la dirección y buzamiento de las capas.

Un corte estratigráfico es una representación bidimensional vertical, a escala, y con una topografía, en la que se muestre la posición de las distancias y unidades litoestratigráficas. Como término más general se llama corte geológico a toda representación, a escala, de la intersección de un plano vertical con su topografía actual, en la que se muestre la disposición de las unidades litoestratigráficas y la estructura de los materiales.

A partir del mapa geológico y de la observación superficial se selecciona el corte estratigráfico en el que mejor se vean las diferentes unidades litoestratigráficas y sus relaciones verticales, siendo este corte ideal para el levantamiento de la sección estratigráfica local o sección estratigráfica medida. (Vera, 1994).

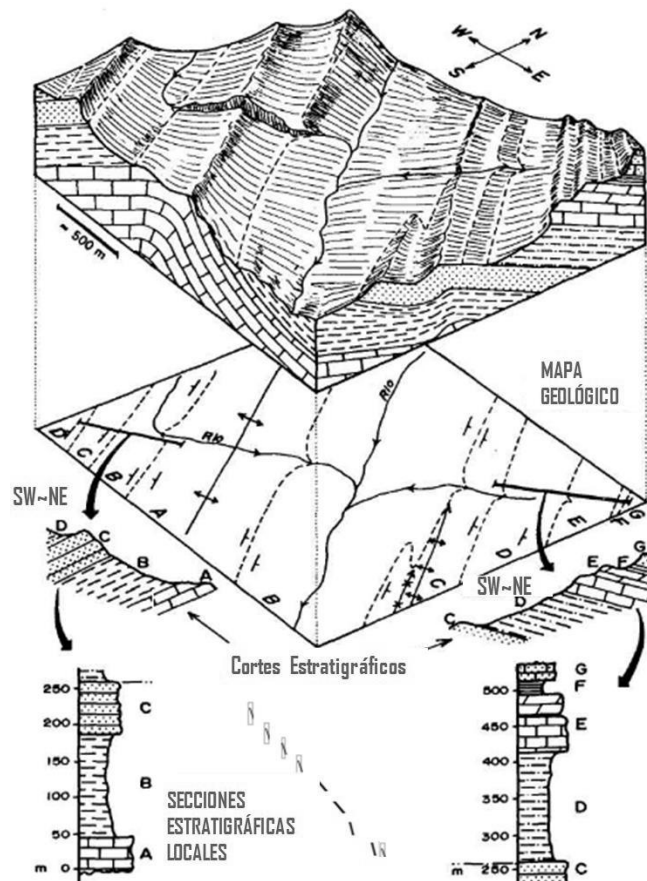


Figura N° 9: Donde se muestra un bloque diagrama, con la disposición tridimensional de las unidades litoestratigráficas de una región determinada, la representación de las mimas en un mapa geológico en el que se marca la posición de los cortes estratigráficos en los que mejor se pueden levantar las secciones estratigráficas y la representación gráfica de las mimas (Fuente: Vera, 1994).

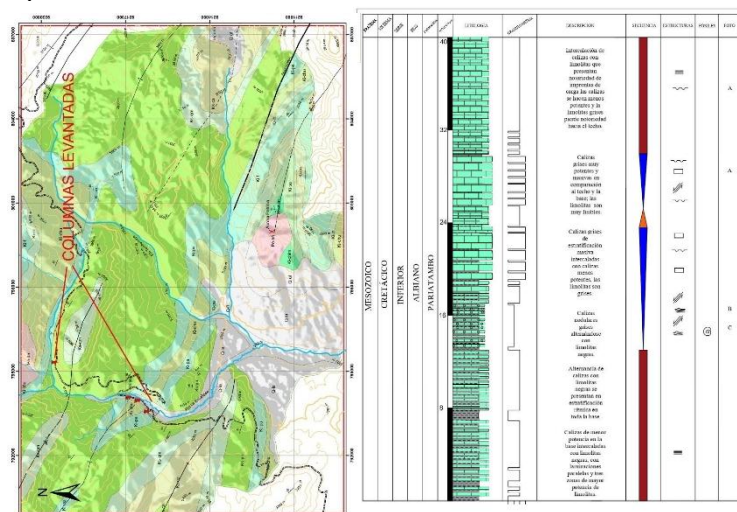


Ilustración N° 4: Visualización de un plano geológico seguidamente de una columna estratigráfica levantada en campo.

Fuente: Adaptado de Rodríguez (2022).

2.2.10.3. Representación gráfica

Existen múltiples tipos de representaciones graficas para las secciones estratigráficas, que difieren entre si en la manera de presentar los resultados y en el grado de detalle de los mismos. En todos los casos la parte principal de la sección estratigráfica la constituye una columna estratigráfica o columna litológica en la que se expresa, a escala, los espesores relativos de cada una de las unidades litoestratigráficas presentes en la misma y las litologías de cada una de ellas.

El tipo de representación gráfica más simple, de una sección estratigráfica, consiste únicamente en la columna litoestratigráfica a escala, elaborada de acuerdo con una clave de litologías. (Vera, 1994).

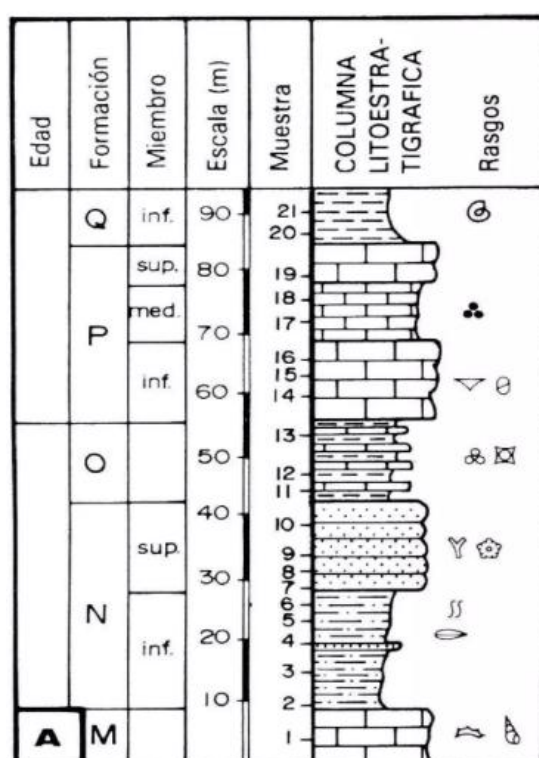


Figura Nº 10: Ejemplo simple de una sección estratigráfica local, en la que se representa exclusivamente la columna litoestratigráfica (o litológica) a escala.

Fuente: Tomado de Vera (1994).

2.2.11. Bioestratigrafía

El primero de estos términos fue introducido por Dollo (1909-1910, en Preliminar y report on Biostratigraphic units, Int. Subcom. on Strat. Canadá, 1971), quien hace equivalentes los términos de Bioestratigrafía y Paleontología estratigráfica. El sentido que este autor daba a la Bioestratigrafía es el mismo que aparece en Teichert

(1958), para el que sería «la aplicación de los estudios paleontológicos a los problemas estratigráficos».

Entre las diferentes acepciones dadas al término Bioestratigrafía figura la de Termier & Termier (1960), según la cual esta rama de la Geología tiene por objeto la «reconstrucción del marco geográfico y biológico en el que se han depositado los sedimentos y sus fósiles». Este objetivo parece más propio de la paleogeografía y de la Paleoecología (Corrales et al. 1977).

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).

2.2.11.1. Biohorizontes

En una sección estratigráfica cada fósil concreto aparece en un conjunto de estratos determinado, sin que este presente por debajo de ellos ni vuelva a aparecer por encima. Las superficies estratigráficas que limitan la presencia de un fósil determinado en la sección estratigráfica se llaman bihorizontes (abreviatura de horizontes bioestratigraficos). Para cada fósil se delimita un biohorizonte de primera aparición (BPA) que es superficie de estratificación a partir de la cual aparece dicho fósil, y un biohorizonte de última presencia (BUP) que será la superficie de estratificación a partir de la cual (hacia términos más modernos) ya no está presente dicho fósil.

La distancia entre los dos girohorizontes en una misma sección estratigráfica varía muy considerablemente de unos fósiles a otros, ya que depende de la tasa de cambio evolutivo y de la tasa de sedimentación de los materiales que los contengan. Transformando esta distancia en tiempo geológico será, lógicamente, más corta en los fósiles característicos. (Vera, 1994).

2.2.11.2. Biozonas

Se llama biozona (abreviatura de zonas bioestratigráficas) a los volúmenes de materiales estratificados diferenciados o caracterizados por su contenido paleontológico. Una biozona puede estar basada en un taxón simple o en la

combinación de varios. Un mismo intervalo de una sección estratigráfica puede ser dividido en zonas de manera diferente en función del criterio de diagnóstico y del grupo de fósil escogido. Las unidades bioestratigráficas, como las litoestratigráficas, son productos relativamente objetivos de un proceso de clasificación, ya que se basan en características observables directamente en los estratos. La definición de unidades bioestratigráficas tiene una limitación, no por obvia menos interesante, que no se pueden aplicar cuando no hay fósiles.

Las normativas internacionales de nomenclatura estratigráfica (CNE, 1961; GEI, 1980; NASC, 1983) establecen diferentes tipos de biozonas y fijan las condiciones que se deben cumplir para su correcta definición, así como la manera de denominarlas. Igualmente, dichas normativas establecen la posibilidad de utilizar unidades bioestratigráficas de rango diferente. De una parte, están las superbiozonas que son unidades de rango superior a la biozona que agrupan a dos o más biozonas con características bioestratigrafías comunes. De otra parte, se trata de subdivisiones de las biozonas en subzonas, e incluso de estas últimas en zónulas. De todas estas unidades, en la práctica, las subzonas son las únicas que tienen un uso frecuente, de manera que muchas biozonas quedan divididas en dos o más subzonas (Fuente: Vera, 1994).

2.2.11.3. Valor estratigráfico de los Fósiles

Los restos fósiles incluidos en los materiales sedimentarios corresponden a organismos que vivieron en determinados momentos de la Historia de la Tierra; a causa de la evolución que los seres vivos sufrieron a lo largo del tiempo, las distintas porciones de la columna estratigráfica están caracterizadas por diferentes asociaciones de fósiles. De aquí se deduce el importante valor cronológico de dichos restos, ya que su presencia va a permitir el conocimiento de la posición cronoestratigráfica de los materiales que los incluyen. Este hecho hará posible, también, la correlación de series basada en criterios biológicos.

No obstante, no todos los fósiles pueden ser utilizados con fines cronoestratigráficos; solamente son válidos aquellos que reúnen determinadas características y para los cuales se ha creado el término de fósiles característicos. Por otra parte, los restos fosilizados de organismos suministran datos acerca del medio de sedimentación en que se acumularon los sedimentos en que están incluidos. Las características de los distintos medios sedimentarios controlan, no solo la distribución de los sedimentos,

sino también la de los organismos; por ello cada medio estará caracterizado por una determinada asociación de fósiles. Al igual que ocurría en el caso anterior, no todos los organismos pueden ser utilizados como indicadores de medios; aquellos con estrecha dependencia del medio Sedimentario reciben el nombre de fósiles de facies. Es preciso tener en cuenta, cuando se realizan estudios de identificación de medios basados en el contenido orgánico, que no siempre los fósiles se encuentran en el mismo lugar en que habitaron; pudieron existir fenómenos de transporte que dieron lugar al depósito de los restos en lugares con características diferentes a aquellas en que los organismos vivieron (Fuente: Corrales et al, 1977).

2.2.11.4. Fósiles característicos

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.

a) 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.

b) 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.

c) 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.

Los fósiles característicos que mayor precisión aportan en cada uno de los intervalos de tiempo corresponden a diferentes taxones. Algunos taxones pueden ser excelentes fósiles guía en un intervalo de tiempo y tener escaso o medio interés en otros. (Vera, 1994)

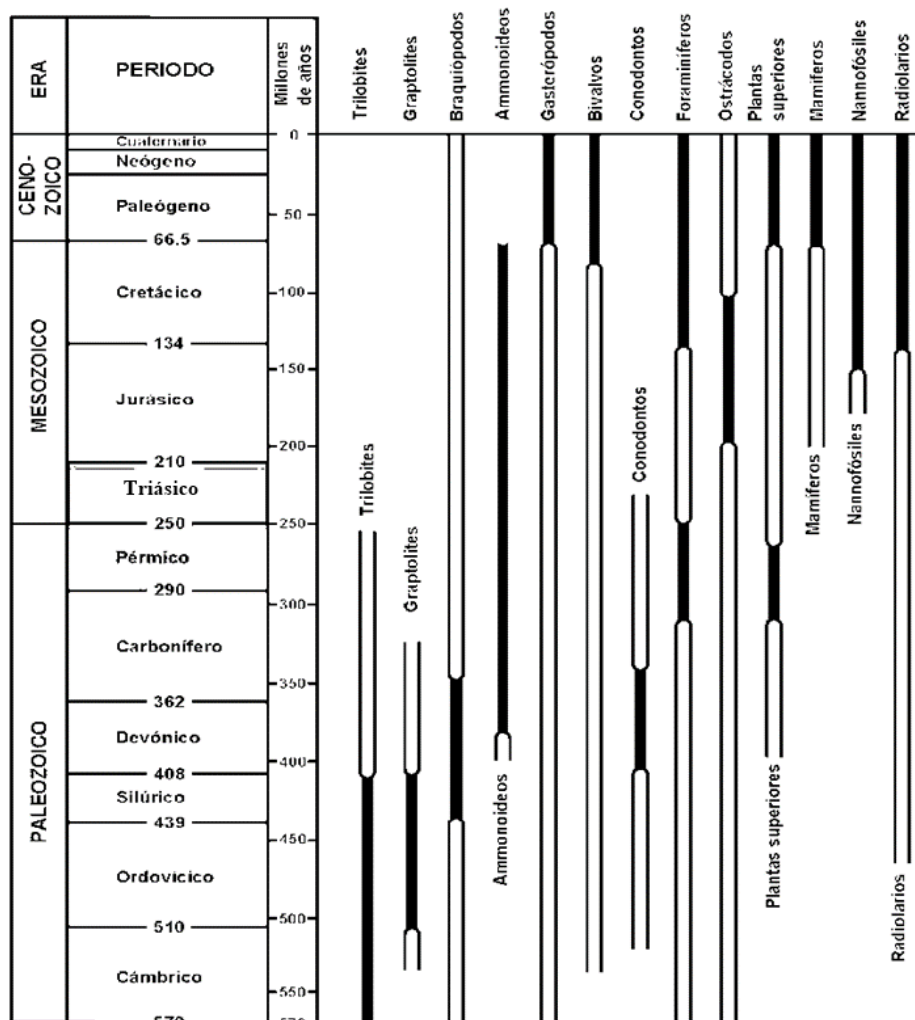


Figura Nº 11: Tabla de la distribución de los fósiles característicos a lo largo del tiempo geológico, desde el Cámbrico hasta la actualidad. La parte en la que el sector comprendido entre las dos líneas está relleno de negro indica el intervalo de tiempo en el que suministran una información más precisa. En blanco (entre las dos líneas) se indican los intervalos en los que están presentes, pero suministrando una información menos valiosa. Elaborado a partir de diferentes fuentes

Fuente: Tomado de Vera (1994).

2.2.11.5. Sistemática o Taxonomía

Según Alvarado (1990). Hace la clasificación de los fósiles, según el sistema de Carlos Linneo:

Reino: Unidad más amplia.

Phylum: Viene a ser la base de la sistemática biológica.

Clase: División que resulta del Phylum y que es un plano fundamentalmente básico.

Orden: Organismos que pertenecen a la misma Clase, pero tiene alguna diferencia que permite su separación.

Familia: Otra categoría que, perteneciendo a la misma Clase, tiene características morfológicas diferentes.

Género: Categoría en que los organismos de la misma Familia se diferencian por algunas características.

Especie: Categoría en que los individuos que, perteneciendo al mismo Género, tiene características específicas; indican el carácter básico de diferenciación.

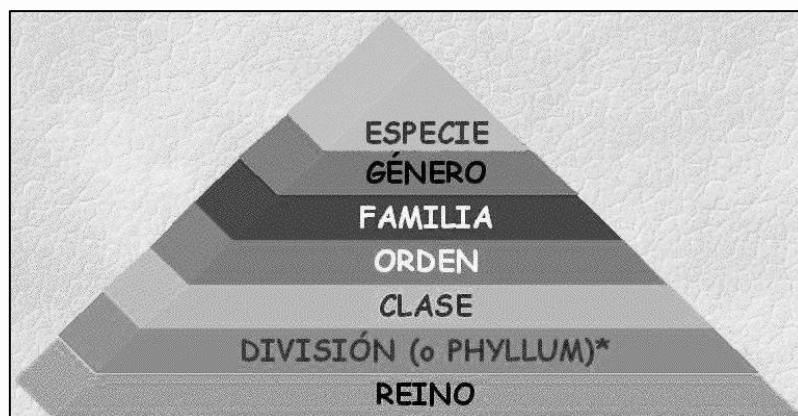


Figura Nº 12: Sistema de clasificación biológica moderna.

Fuente: Tomado de Linneo (1753).

2.2.12. Rocas sedimentarias carbonatadas

Las rocas carbonatadas de acuerdo a su mineralogía se dividen en calizas y dolomías. Las calizas están compuestas principalmente por la mineral calcita y las dolomías compuestas principalmente por la mineral dolomita. Las rocas carbonatadas representan aproximadamente entre 20 al 25% de todas las rocas sedimentarias del registro geológico. Las calizas presentan variadas texturas, estructuras y fósiles que proporcionan importante información acerca de los antiguos

ambientes marinos, condiciones paleoecológicas y la evolución de las vidas marinas a través del tiempo.

Reconocemos calcita con bajo contenido en magnesio (llamada simplemente calcita) conteniendo menos del 4% de carbonato de magnesio y calcita con alto contenido de magnesio conteniendo más del 4% de carbonato de magnesio.

Existe otro tipo de roca denominada marga. La marga se compone de carbonatos y arcillas. Según las relaciones cuantitativas se distingue marga arcillosa, marga y marga calcárea. Normalmente el carbonato es presentado por calcita, a veces por dolomita. Componentes adicionales pueden ser cuarzo, mica y compuestos carbonosos. La marga frecuentemente lleva nódulos de yeso, calcita y pirita, es de color gris claro hasta oscuro, café o verdoso, frecuentemente contiene fósiles pequeños (Sam y Boggs, 2006).

La clasificación de rocas carbonatadas se hace en función de los elementos texturales que la componen y la fábrica de éstos. Las dos clasificaciones más usadas son las de Folk (1962) y Dunham (1962).

2.2.12.1. Clasificación de Folk 1959 - 1962

Establece una clasificación de calizas teniendo en cuenta las proporciones relativas de los tres constituyentes básicos: granos (alocuímicos), matriz micrítica y cemento esparítico (ortocuímicos).

Diferencia tres tipos básicos de calizas: alocuímicas (con >10% de granos), micríticas (con <10% de granos) y biolititas. Dentro de las calizas alocuímicas 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).

Espectro de las texturas de las rocas carbonatadas								
% de componentes	Lodo calcáreo (matriz)				Igual cantidad de Micrita y Esparita	2/3 de cemento tardío (Esparita)		
	0-1%	1-10%	10-50%	Arriba de 50%		Mal sorteado	Bien sorteado	redondeado
Nombre representativo	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita poco empaquetada	Biomícrita bien empaquetada	Bioesparita poco lavada	Bioesparita no sorteada	Bioesparita sorteada	Bioesparita con componentes redondeados
								
Terminología de Folk 1959	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita		Bioesparita			
Análogo clástico	Lutita		Lutita arenosa	Arenisca arcillosa inmadura		Arenisca poco madura	Arenisca madura	Arenisca sobremadura

Figura N° 13: Espectro de las texturas de las rocas carbonatadas (Folk, 1962). La energía del agua en el área de sedimentación aumenta de izquierda a derecha, equivalente a los ambientes de cuenca – Plataforma somera – Zona de costa / Playas (Mackenzie, 1997).

2.2.12.2. Clasificación según Dunham (1962)

El Criterio utilizado por Dunham son los porcentajes relativos de granos y de barro (presencia o no de micrita) y su disposición (fábrica). La clasificación de Dunham no hace referencia al tamaño de los granos ni al tipo de estos; se suele hacer, sin embargo, mención de ello. Ejemplo: grainstone oolítico, o packstone de crinoideos. Esta clasificación presenta como ventaja su fácil utilización en terreno. Debido a que los nombres son colocados dependiendo de la textura depositacional de la roca, tienen connotaciones en cuanto a indicación de energía en el medio sedimentario; grainstone: sedimentos muy lavados, mudstone: sedimentos propios de aguas no agitadas. (Dunham, 1962).

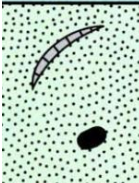
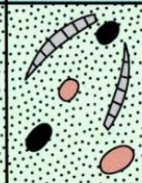
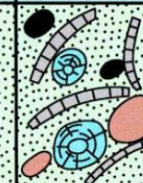
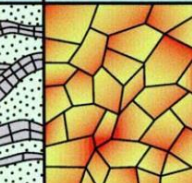
Textura deposicional reconocible					Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación			Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción		
Con barro micrítico		Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico			
Esqueleto matriz-soportado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

Figura N° 14: Clasificación de las rocas carbonatadas. Según Dunham, (1962).

Carbonatos con textura deposicional reconocible

Boundstone: Los componentes originales se encuentran ligados durante la sedimentación debido a la acción de organismos bioconstructores (corales, algas rodofíceas, cianobacterias, etc.).

Grainstone: Textura grano-soportada y sin matriz micrítica. El espacio intergranular puede estar ocupado por cemento.

Packstone: Textura grano-soportada y con matriz micrítica. El espacio intergranular está ocupado por micrita

Wackestone: Textura matriz-soportada con más del 10% de granos.

Mudstone: Textura matriz-soportada con menos del 10% de granos.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Facies sedimentarias: Sucesión sedimentaria o conjunto de cuerpos sedimentarios acumulados en un determinado ambiente sedimentario. Hace referencia a la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica. (Gressly, 1838).

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

Bioestratigrafía: Datación geológica basada en el estudio de los fósiles encontrados en los estratos. Estrato o capa definida por su contenido fosilífero y se diferencia de los estratos adyacentes. (Dávila, 2011).

Fósil guía: 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).

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

Miembro: Unidad litoestratigráfica de rango inmediatamente inferior a la formación y que siempre es parte de una formación. (GEI, 1980).

Litología: Es la parte de la geología que estudia a las rocas especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. Incluye también su composición, su textura, tipo de transporte, así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante. (GEI, 1980).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica

Geográficamente la zona de investigación se ubica en la parte Noreste de la provincia de Cajamarca, a una altitud de 3460 msnm. Delimitada por las coordenadas del sistema de Unidad Técnica de Medida (UTM) datum WGS-84 en el cuadrángulo de Cajamarca (15-f):

Tabla 1: ubicación geográfica del área de estudio.

COORDENADAS					
VÉRTICE	LONGITUD	LATITUD	VÉRTICE	LONGITUD	LATITUD
A	768157.693	9210484.87	G	763999.448	9212461.48
B	767337.483	9209312.24	H	763701.175	9211990.89
C	765811.075	9210482.50	I	765472.167	9210815.74
D	765513.719	9210128.47	J	765843.492	9211290.68
E	762905.307	9211855.15	K	767359.785	9210114.00
F	763541.829	9212755.77	L	767809.765	9210733.05

3.1.2. Política

La ubicación de los sectores de estudio corresponde a Chamis Alto - Carhuaquero y Majadapampa, en el departamento y provincia y distrito de Cajamarca, correspondiente al cuadrángulo de Cajamarca (15-f).

3.1.3. Accesibilidad

El acceso para llegar al área de investigación en primera instancia es por la carretera de Cajamarca – laguna Chamis; luego se toma la carretera Laguna Chamis – Carhuaquero finalmente Carhuaquero – Majadapampa.

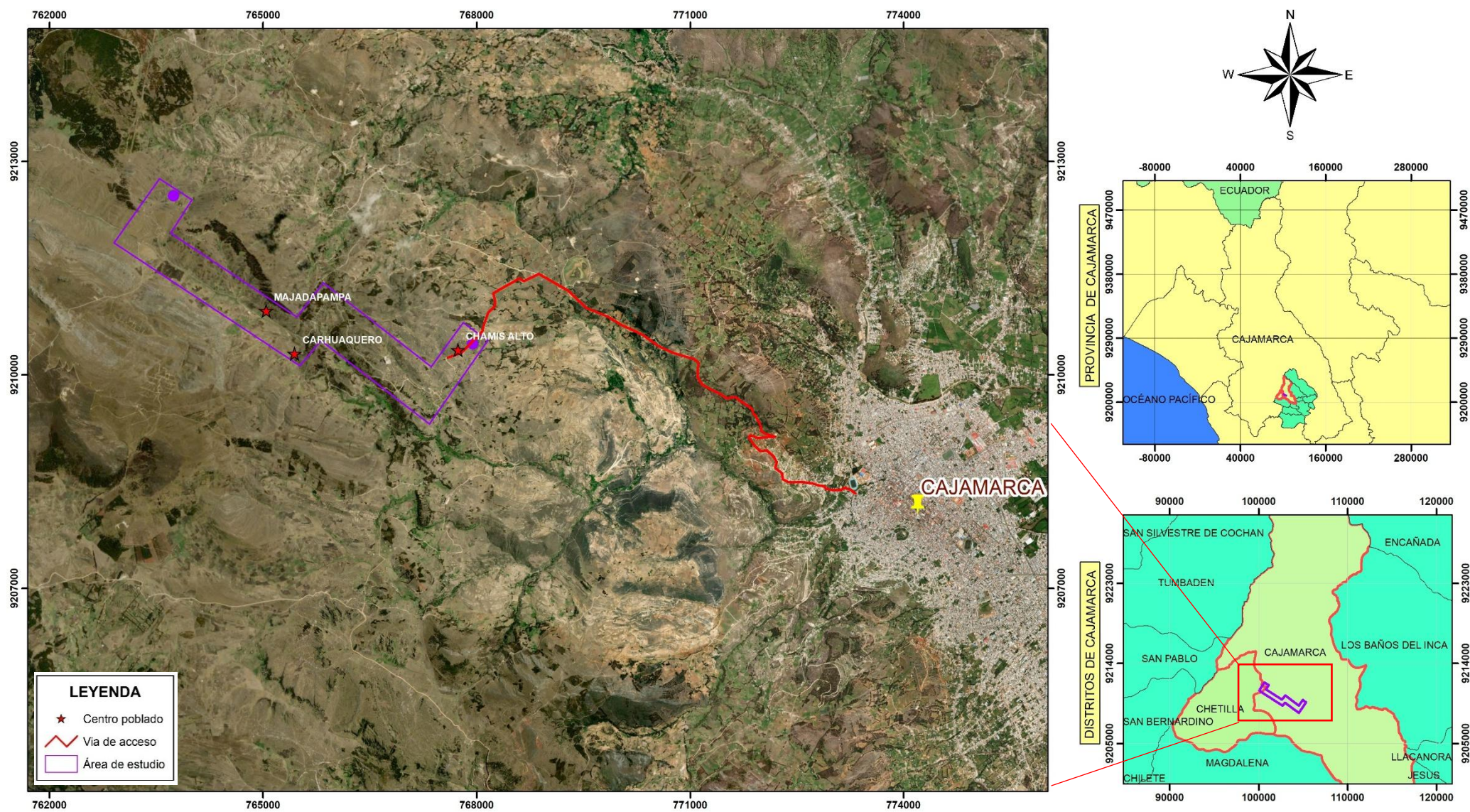


Figura N° 15: Ubicación Política de la investigación indicándose en la parte izquierda de color magenta el área de estudio.

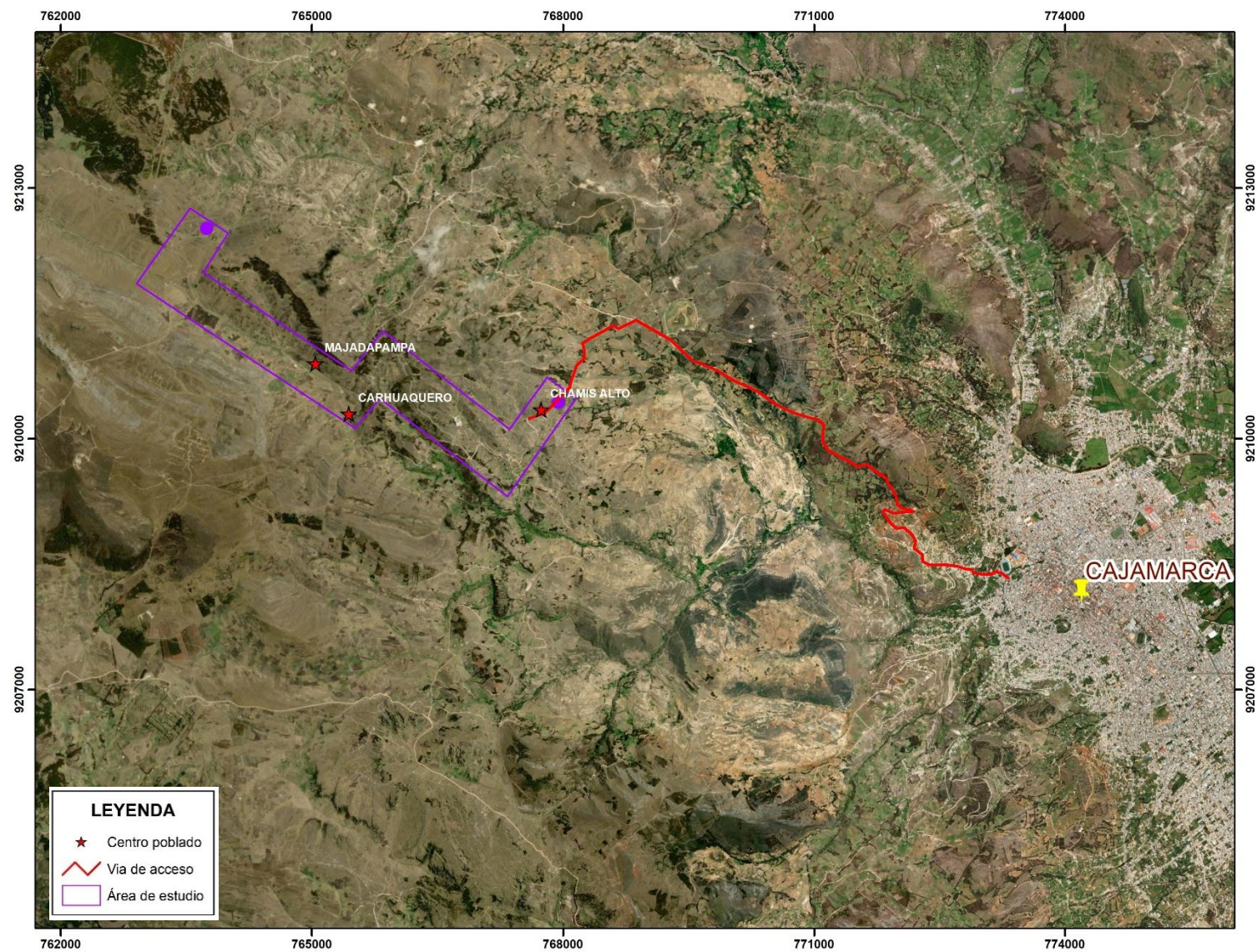


Figura N° 16: Accesibilidad al área de investigación desde la ciudad de Cajamarca hasta el centro poblado de Chamis Alto.

Tabla 2: Accesibilidad del área de estudio (Ver Fig. 16)

TRAMO	DISTNCIA(Km)	TIPO DE VIA	TIEMPO
Cajamarca (Av. Vía de evitamiento norte) – Laguna Chamis.	10	Trocha	35 min
Laguna de Chamis - Carhuaquero	3	Trocha	15 min
Carhuaquero - Majadapampa	5	Trocha	20 min

3.2. PROCEDIMIENTOS

Para la ejecución de la investigación se ha realizado en 3 etapas que fueron la revisión bibliográfica, trabajo de campo y la elaboración del informe final.

Pre-campo:

Donde se realizó una búsqueda y análisis de información sobre los temas que se han realizado en la zona de estudio referidos con el proyecto de tesis, de la misma manera se analizó artículos científicos, publicaciones y tesis relacionados al tema de investigación.

Campo:

Se realizó el reconocimiento a la zona de investigación identificando la litología y el contenido fosilífero, de la misma manera se hizo el levantamiento de la columna estratigráfica con la medición de los estratos y el contenido fosilífero.

Se realizó la medición del espesor de los estratos de la Formación Yumagual señalando los niveles en que cambian sus características y sacando muestras de las rocas y fósiles encontrados en la zona.

Pos-campo:

Finalmente se procesó los datos obtenidos en campo haciendo uso de los diferentes softwares como son: el ArcGIS 10.5, AutoCAD, Excel, etc. Para la elaboración de los perfiles, planos temáticos y las columnas estratigráficas, formatos de rocas y fósiles que son necesarios en el área de estudio y por último se realizó un análisis macroscópico de las muestras obtenidas en campo.

3.2.1. Metodología

Tipo, nivel, diseño y método de investigación

Tabla 3: Clasificación de la investigación

CLASIFICACIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Según el nivel	Analítica, descriptiva y explicativo
Según el diseño	De campo (recopilación y análisis de datos)
Según su naturaleza o modo	Cualitativo y cuantitativo
Según su finalidad	Aplicativa

Fuente: Adaptado y modificado de Supo, (2016).

3.2.1.1. Población de estudio

Afloramientos lito-bioestratigráficos de la Formación Yumagual en los sectores de Chamis Alto- Carhuaquero y Majadapampa con una extensión de 7.6 Km de longitud.

3.2.1.2. Muestra

Estratos(columnas), Litología, textura, estructuras sedimentarias y contenido de fósiles de la Formación Yumagual.

3.2.1.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis son los estratos, las facies, el espesor y las características Lito-bioestratigráficas de la Formación Yumagual.

3.2.2. Identificación de Variables

Para la investigación se ha identificado variables dependientes e independientes como se muestra a continuación en el cuadro:

Tabla 4: Identificación de variables

Variable Independiente (Efecto)	Variable Dependiente (Causa)
Litología	Litoestratigrafía
Textura	
Estructuras sedimentarias	
Facies sedimentarias	
Tiempo Cronoestratigráfico	
Contenido fosilífero	Bioestratigrafía

3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas que se han empleado para la recolección de datos para la siguiente investigación será directamente de la zona de investigación en las diferentes salidas a campo, utilizando materiales geológicos; mientras que los instrumentos estarán constituidos por; picota, protector, brújula, planos temáticos, fichas para medición estratigráficas, fichas para muestras y fichas para descripción de fósiles de la Formación Yumagual.

3.2.3.1. Instrumentos y Equipos

En la investigación se ha tomado en cuenta técnicas de observación, descripción e interpretación a través de trabajos de campo y gabinete de esta manera utilizando instrumentos y equipos, que hicieron posible la toma de datos para llevar un correcto análisis e interpretación de estos datos.

3.2.3.2. Equipos

En esta investigación se utilizaron una serie de equipos de esa manera poder sacar datos correctos para lo cual se utilizaron los siguientes: planos temáticos que se utilizó en el cartografiado de las litologías de la formación, para la ubicación se utilizó un GPS(GARMIN), para medir el buzamiento de los estratos se utilizó una brújula Brunton, el flexómetro se utilizó un para hacer un levantamiento estratigráfico de los estratos, con la ayuda de las fichas estratigráficas se realizó las columnas estratigráficas teniendo características físico ambientales y litológicas.

Tabla 5: Instrumentos para la recolección de datos en campo

Brújula Brúnton	Rayador	Flexómetro 5 m.	Cámara fotográfica
GPS	Ácido clorhídrico	Planos temáticos	Bolsas para muestras
Lupa de 20x	Lápices de colores	Protáctor 1/10000	Picota geológica
Fichas estratigráficas	Formato de rocas	Formato de fósiles	Softwares

3.3. MARCO ESTRATIGRÁFICO

3.3.1. GRUPO PULLUICANA

El Grupo Pulluicana está compuesta de bancos de caliza potentes con presencia de margas, lutitas y abundantes fósiles que se interpretan como una biozona de alta actividad biológica. La litología predominante en esta zona son calizas grisáceas, que se meteorizan de crema a marrón claro y que se presentan en capas mediana, nodulares o irregularmente estratificadas. Intercaladas con las calizas hay capas de margas marrones y arcillitas grisáceas.

3.3.1.1. Formación Yumagual

Suprayace con leve discordancia a la formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la Formación Mujarrún y Grupo Quilquiñán indiviso describiéndose a continuación en la estratigrafía local.

3.4. ESTRATIGRAFÍA LOCAL

La Formación Yumagual aflora en los sectores de Chamis Alto - Carhuaquero y Majadapampa, de acuerdo al análisis macroscópico y las condiciones del ambiente sedimentario que se evidencian en la zona de estudio.

3.4.1. Formación Yumagual

La Formación Yumagual suprayace a la Formación Pariatambo e infrayace con a la Formación Mujarrún y Grupo Quilquiñán.

Esta Formación pertenece al Albiano superior y cenomaniano inferior y consiste en una secuencia de margas y calizas, calizas y arcillitas, y arcillitas y margas. La Formación Yumagual se caracteriza por tener bastante contenido fosilífero (bivalvos, gasterópodos, cefalópodos e icnofósiles).

Está compuesta por tres miembros (Inferior, Medio y Superior); presentando un espesor de 700 m. aproximadamente.



Fotografía N° 1: Vista panorámica en el centro poblado de Majadapampa donde se aprecia la ubicación de la Fm. Yumagual entre la Fm. Pariatambo y Fm. Mujarrún, Grupo Quiquiñan.

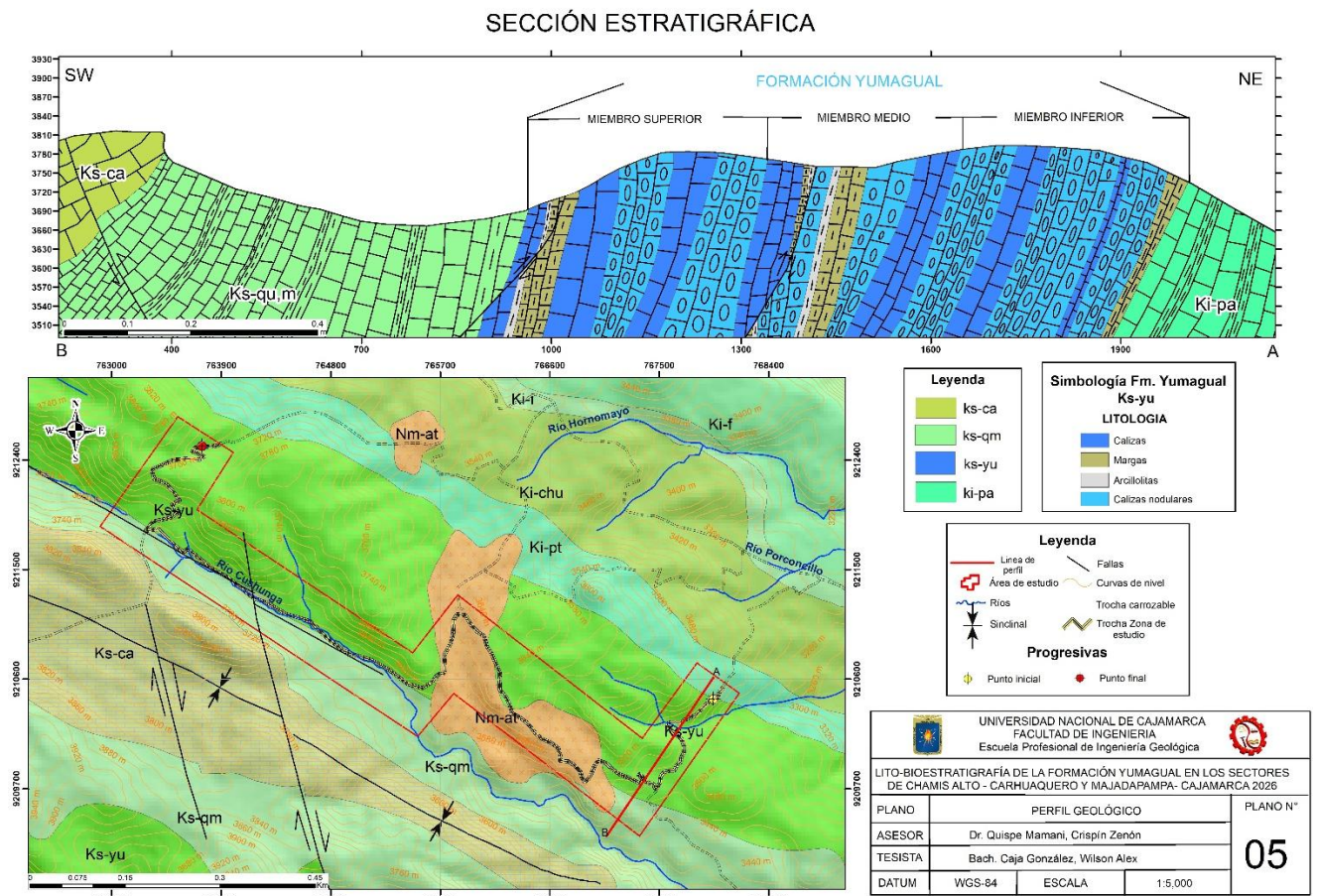


Ilustración N° 5: Vista del perfil geológico de la Fm. Yumagual presentando los miembros inferior, medio y superior.

3.4.1.1. Miembro inferior

Miembro cuyo espesor aproximado es de 250 m, presentando un contacto neto con la Formación Pariatambo, su litología está compuesta por calizas masivas (Mudstone y Wackestone) de 1.20 m a 1.50 m, intercaladas con calizas nodulares de textura Wackestone gris parduscas con espesor de 40cm a 50cm, presentando niveles muy pocos de arcillitas y margas. Este miembro presenta alto contenido de fósiles entre los más resaltantes tenemos de la clase Bivalvia (Nucula, Pecten).



Fotografía N° 2: Contacto entre la Fm. Pariatambo y el miembro inferior de la Fm. Yumagual en el centro poblado de Majadapampa.

3.4.1.2. Miembro Medio

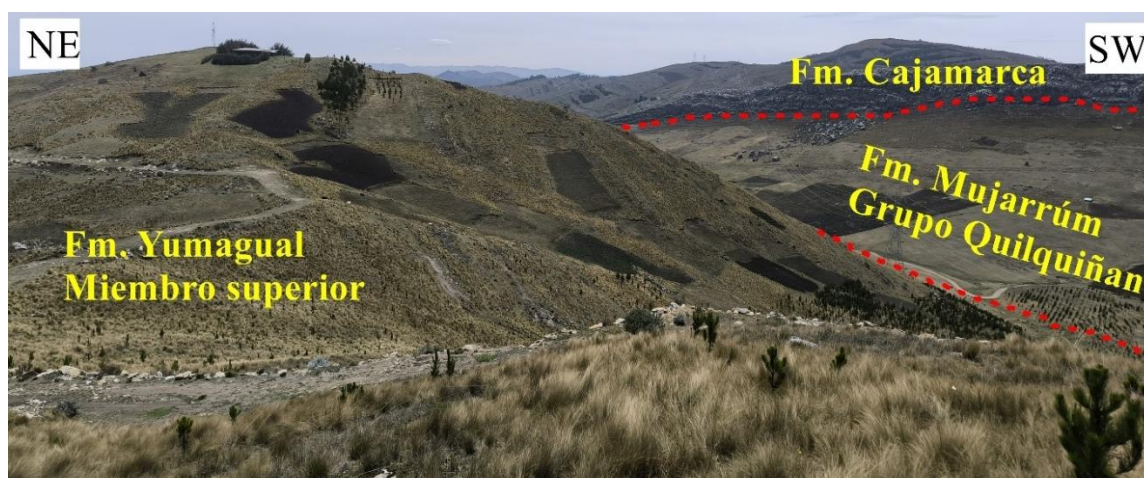
La litología del miembro medio se caracteriza por presentar mayores estratos de calizas nodulares de textura Packstone con un espesor de 30cm a 40cm, intercalados calizas gris parduscas de textura Wackestone y Packstone, con un promedio de 90cm a 1.10m de espesor y margas amarillentas a gris pardusco, este miembro tiene un espesor aproximado de 240 metros, presentando alto contenido fosilífero en las calizas nodulares, dicho miembro también se encuentra afectado por estructuras (fallamientos), producto de diferentes eventos tectónicos producidos a través del tiempo.



Fotografía N° 3: Contacto de los miembros medio y superior de la Fm. Yumagual vista en el centro poblado de Majadapampa.

3.4.1.3. Miembro Superior

Este miembro tiene un espesor de 210 metros, encuentra en el techo de la Formación Yumagual y en el piso de la Formación Mujarrúm y Grupo Quilquiñan, presentando caliza gris parduscas con textura Wackestone y Packstone con un espesor de 80cm a 90cm intercaladas con calizas nodulares de textura Packstone, de 10 cm a 20 cm, con niveles de arcillitas y margas amarillentas con espesores de 40cm a 60cm, presentando escaso contenido fosilífero, no se pudo observar el contacto directo visible de dicho Miembro con la Formación Mujarrúm y Grupo Quilquiñan debido a que en su mayoría se encuentra erosionado e intemperizado cubierta de vegetación.



Fotografía N° 4: Contacto entre el miembro superior de la Fm. Yumagual y Fm Mujarrúm, Grupo Quilquiñan.

3.4.2. CARACTERIZACIÓN LITOSTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL CENTRO POBLADO DE CHAMIS ALTO

En el centro poblado de Chamis Alto se encuentra en la parte superior de la laguna Mataracocha de la cual en esta zona se presenta dos miembros que se describe a continuación.

3.4.2.1. Unidades litoestratigráficas del Miembro Inferior

Este miembro yace concordantemente sobre la Formación Pariatambo, existiendo un contacto concordante entre estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) con un característico olor fétido al momento de fracturarlas a estratos de calizas nodulares, calizas micríticas e intercalación de margas. Principalmente este miembro se caracteriza por contener calizas con abundantes fósiles.

a) Facies litoestratigráficas

- **Facies: Calizas intercaladas con arcillitas**

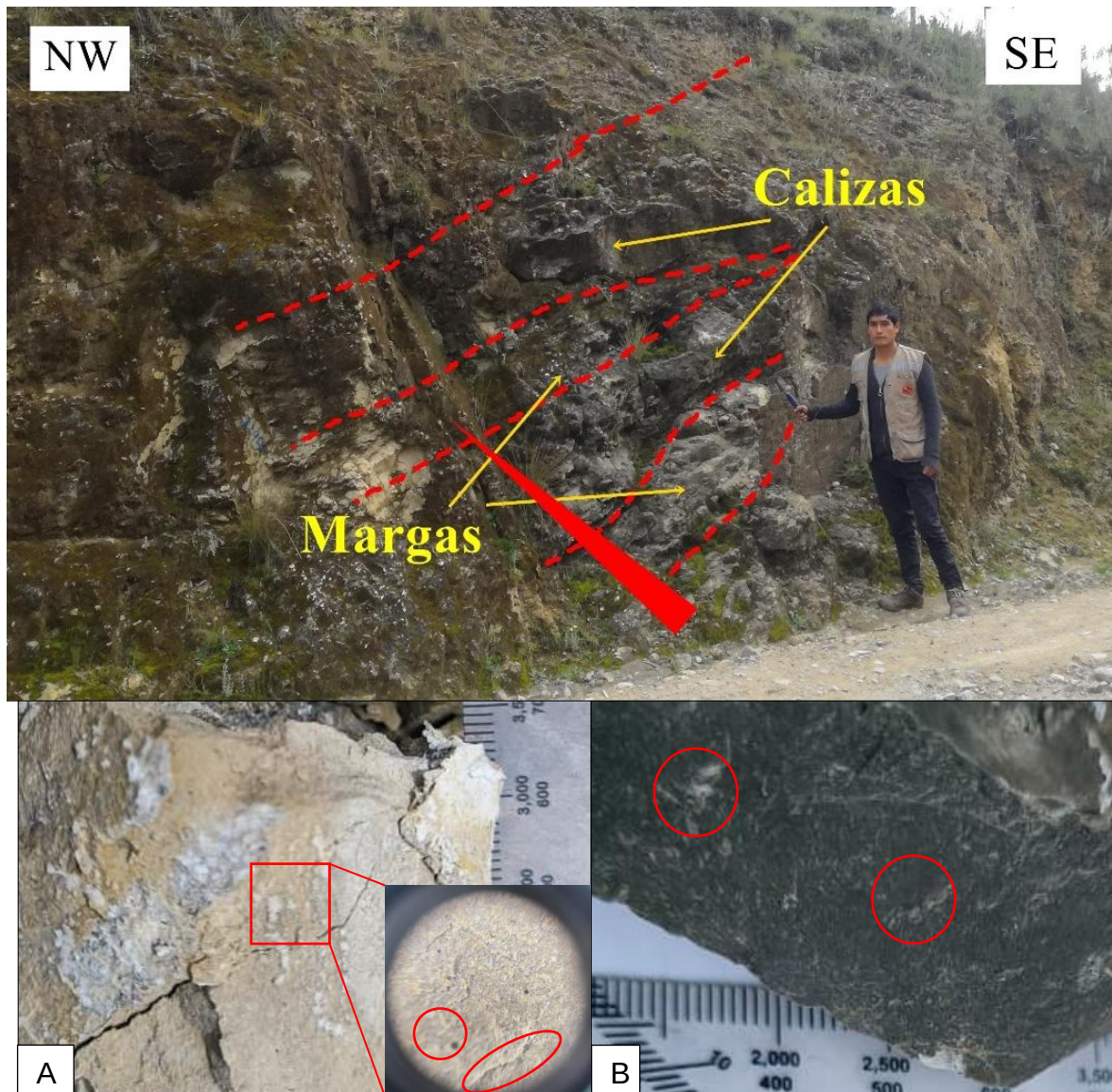
En esta facie principalmente se caracteriza por no presentar abundantes fósiles, pero por contener estratos de calizas de 10 a 20 cm de espesor intercaladas con pequeños niveles de arcillitas, entre algunos fósiles que se encontró son de la clase Bivalvia (Núcula) de 2 a 3 cm. Con una secuencia de estratos directa y un grosor de esta facie de 10m.



Fotografía N° 5: Contacto entre la Fm. Pariatambo y la Fm. Yumagual, así mismo presentándose en la Fm. Yumagual.

- **Facies: Calizas intercaladas con margas**

Esta facie se caracteriza por presentar estratos de calizas de textura Mudstone de 30 a 50 cm de espesor con contenido de bioclastos y bivalvos (*Nucula*) intercalados con pequeñas secuencias de margas de textura Mudstone de 10 a 20 cm de espesor y pequeños niveles de arcillitas, la secuencia de esta facie es directa y un grosor de esta facie de 15m.



Fotografía N° 6: Se observa Estratificación de calizas intercaladas con estratos de margas, presentando una secuencia directa. A) Muestra de mano de una marga de textura Mudstone. B) Muestra de mano de una roca caliza de textura Mudstone.

- **Facies: Calizas masivas intercaladas con calizas nodulares y arcillitas de laminación delgada.**

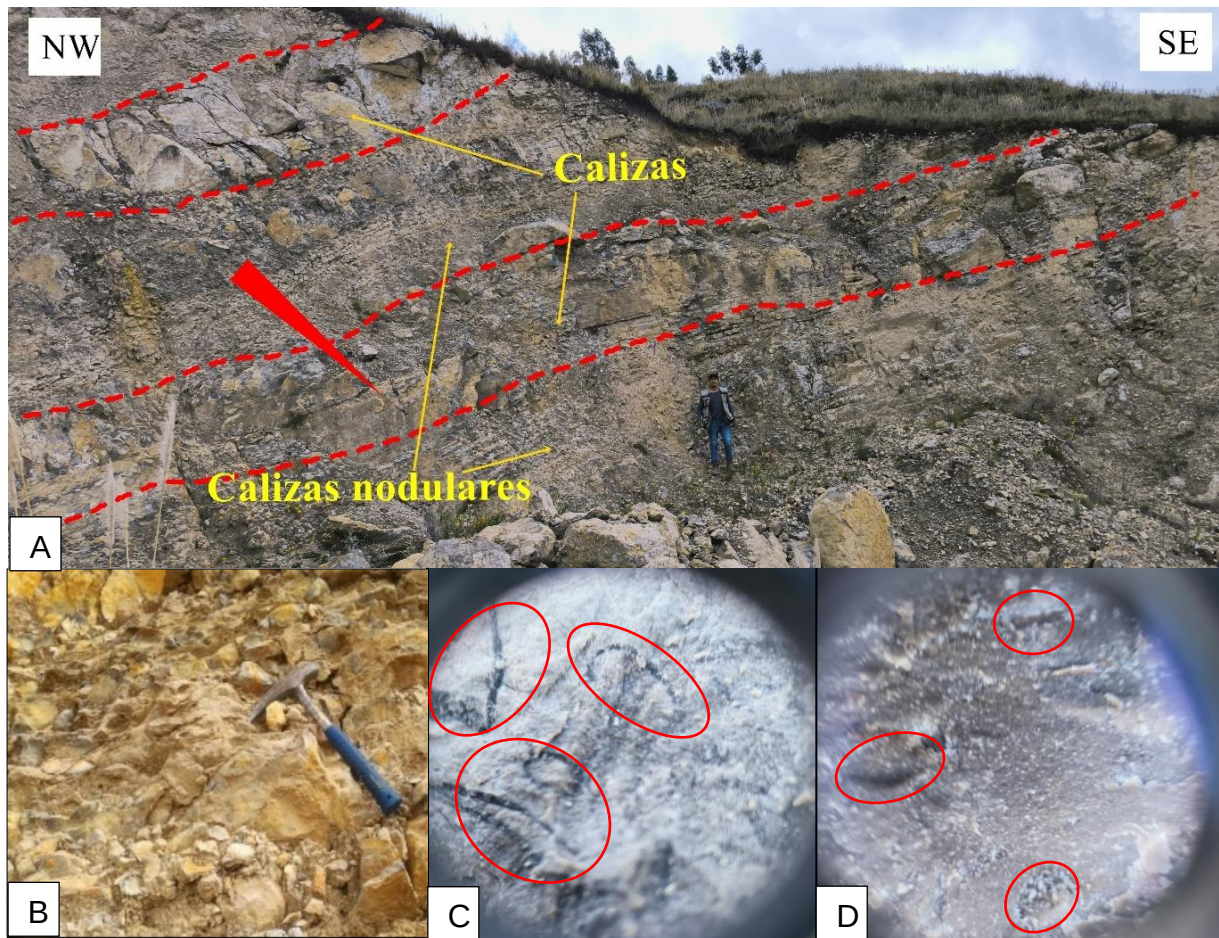
Esta facie es de secuencia indirecta, básicamente se caracteriza por presentar estratos de calizas nodulares, con un espesor de 5 a 10 cm aproximadamente, intercaladas con estratos de calizas masivas de 30 a 50 cm y pequeños niveles de arcillitas, estas facie tiene un grosor de 20 m, y poseen escasos fósiles.



Fotografía N° 7: Intercalación de estratos de calizas masivas y calizas nodulares, presentando esta estratificación una secuencia inversa.

Facies: Calizas nodulares de textura Wackestone intercaladas con calizas masivas de textura Packstone.

Esta facie tiene un grosor de 50 m presentando una secuencia inversa, donde se aprecia abundantes estratos de calizas nodulares de textura Wackestone con espesores de 10 cm a 15 cm intercalada con calizas masivas Packstone de 90 cm a 1.20 m de espesor, esta facie contiene abundantes fósiles de la clase Bivalvia (Pectinata, Pecten y Scyphax) y fósiles de la clase Gasterópoda (Tylostoma), algunos estratos de caliza presentan biozonas.



Fotografía N° 8: A) Estratos de calizas nodulares intercaladas con bloques de calizas masivas de textura Packstone, presentando una secuencia inversa. B) Se observa la estratificación de calizas nodulares. C) Se aprecia una muestra de caliza masivas de textura Packstone visto con la lupa de aumento de 20x. D) Se aprecia una muestra de roca caliza de textura Wackestone visto con la lupa de aumento de 20x.

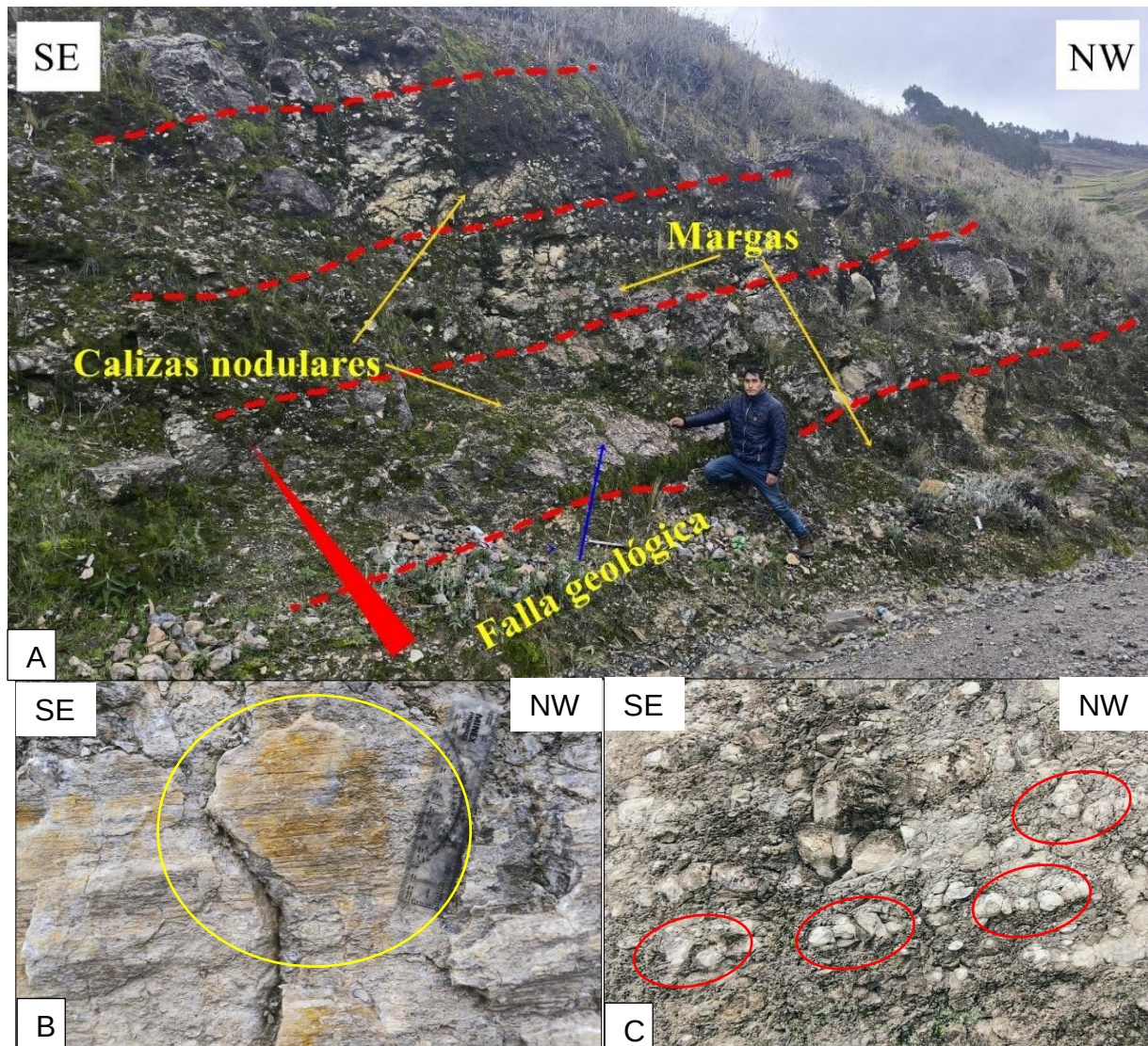
3.4.2.2. Unidades litoestratigráficas del Miembro Medio

Esta unidad presenta las siguientes facies:

a) Facies litoestratigráficas

- **Facies: Calizas nodulares intercaladas con margas de estratificación mediana.**

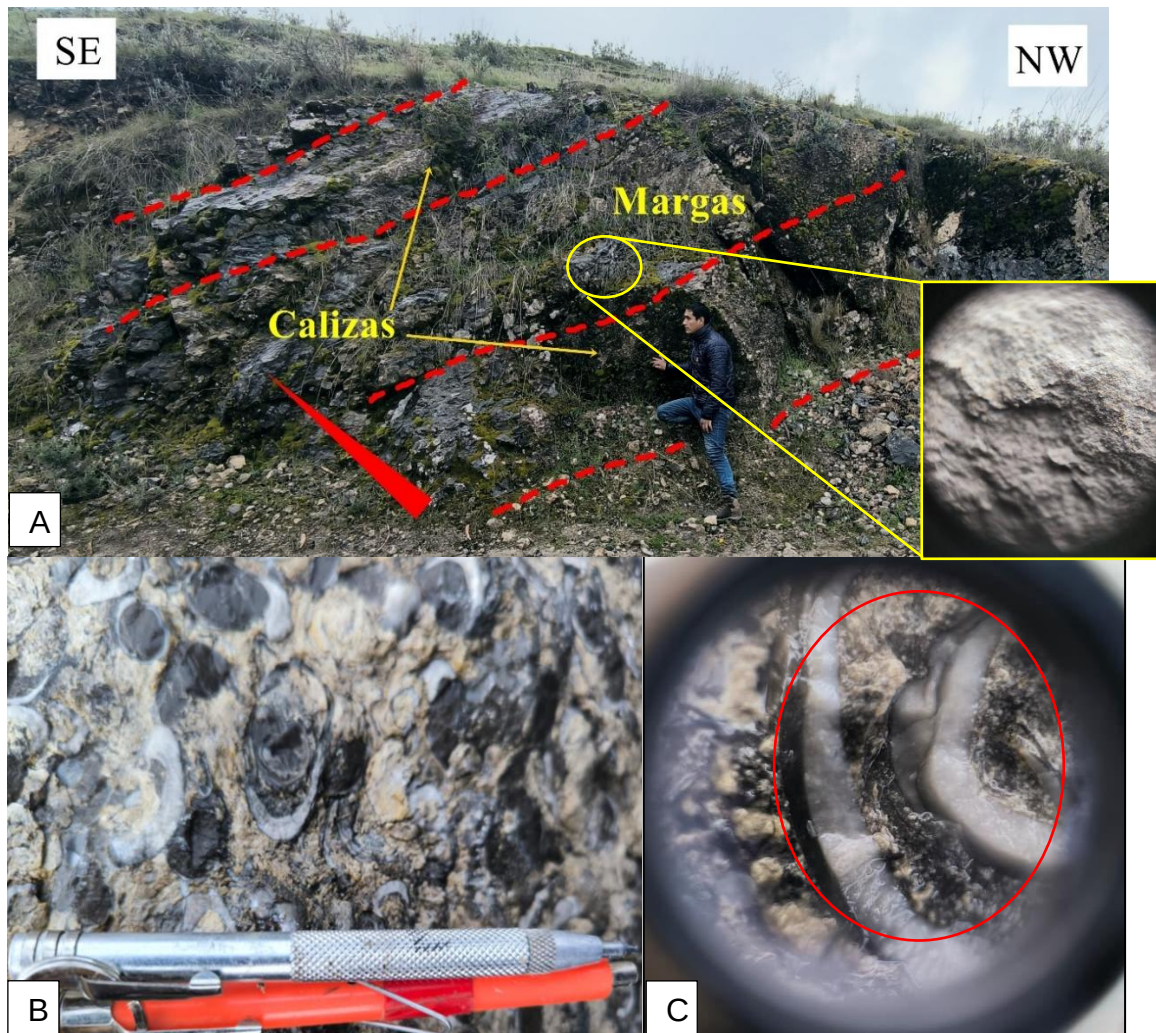
Esta facie presenta estratos delgados de calizas nodulares con un grosor de 15cm intercaladas con margas de estratificación mediana de 20cm a 10 cm de grosor y niveles de arcillitas presentes en la falla inversa. Esta facie es de 80 m aproximadamente con secuencia directa, presentando fósiles (Pectinata, Pecten y Scyphax) en las calizas nodulares.



Fotografía N° 9: A) Intercalación de estratos con litología de calizas nodulares, margas y arcillitas, presentando una secuencia directa. B) se observa las estrías de una falla geológica inversa presente en el miembro medio. C) Se presente la intercalación de calizas nodulares.

- **Facies: Calizas de textura Wackestone intercaladas con margas de textura Mudstone.**

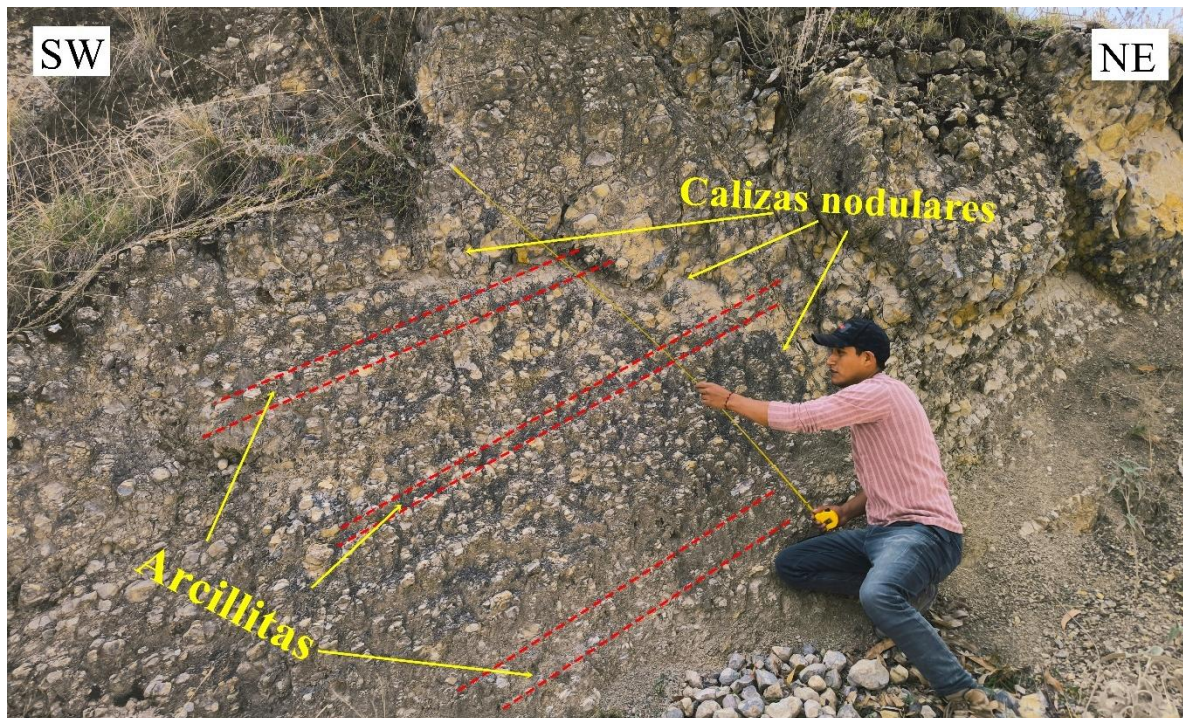
En esta facie se presenta estratificaciones de calizas de textura Wackestone de 40cm a 50cm de grosor, intercaladas con margas de textura Mudstone de 10 cm de espesor. esta facie tiene un espesor de 30 metros aproximadamente y una secuencia directa, presentando fósiles (Pectinata, Pecten) en las calizas.



Fotografía N° 10: A) Estratos de calizas textura Wackestone intercaladas con estratos de margas, presentando una secuencia directa. B) Biozona de Pectinata y Pecten presente en el miembro medio de la Fm. Yumagual. C) Se aprecia la biozona rellena de calcita visto con lupa de aumento 20x.

- **Facies: Calizas nodulares intercaladas con arcillitas de laminación delgada.**

Facie de 20 metros aproximadamente, presentando una secuencia rítmica de calizas nodulares con un espesor de 5cm a 10cm, intercaladas con pequeñas estratificaciones delgadas de arcillitas. Esta facie presenta fósiles de la clase bivalvia (Pectinata y Pecten).



Fotografía N° 11: Estratos delgados de calizas nodulares intercaladas con niveles de arcillitas.

- **Facies: Margas de estratificación delgada intercaladas con calizas nodulares**

Facie de 50 metros presentando una secuencia directa, con litología de margas amarillentas de estratificación delgada con un grosor de 10cm intercaladas con calizas nodulares de 10 a 15cm de grosor. Presentando fósiles de especie (Pectinata) en las margas y fósiles de especie (Mermeli) en las calizas.



Fotografía N° 12: Estratificación de margas de estratificación delgada intercaladas con calizas nodulares.

3.4.3. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL CENTRO POBLADO DE CARHUAQUERO

En el centro poblado de Carhuaquero la estratigrafía se caracteriza por presentar el miembro superior de la Formación Yumagual, además este miembro forma una discordancia angular erosiva con los depósitos piroclásticos de la secuencia Volcánica Atozaico.



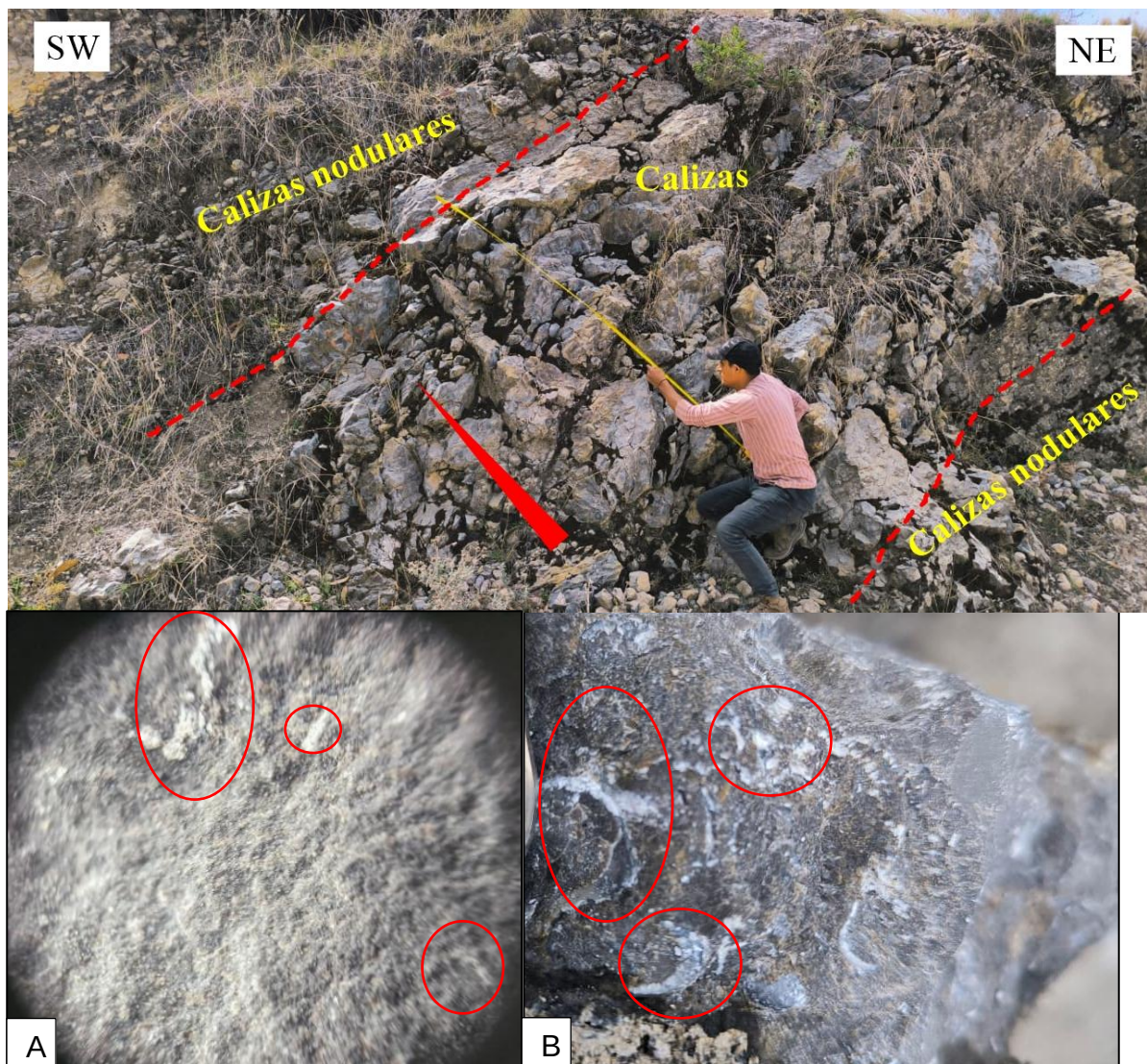
Fotografía N° 13: Contacto inferido (línea punteada roja) del miembro superior de la Fm. Yumagual con los depósitos piroclásticos de la secuencia Volcánica Atozaico.

3.4.3.1. Unidades litoestratigráficas del Miembro Superior

a) Facies litoestratigráficas

- **Facies: Calizas nodulares de textura Wackestone intercaladas con calizas masivas de textura Packstone.**

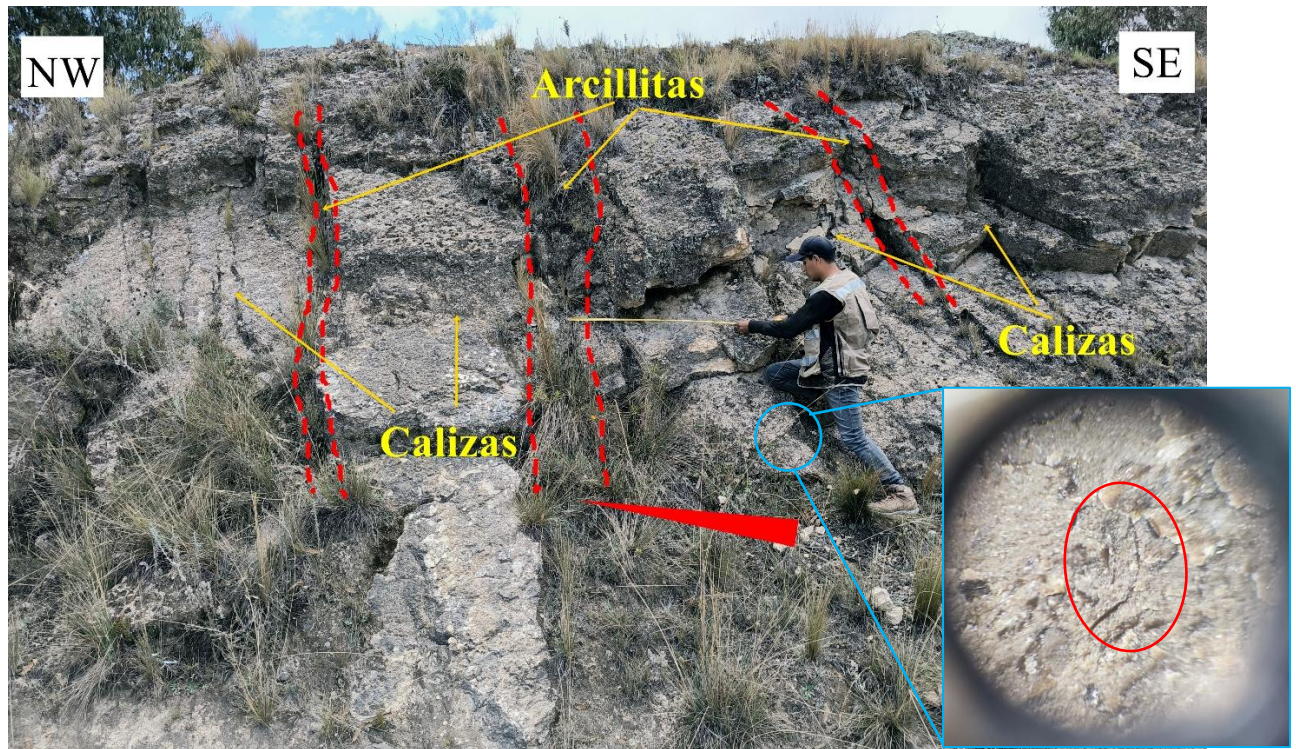
Facie de secuencia directa, que está compuesta por calizas masivas de textura Wackestone de 50cm a 90cm de grosor intercaladas con estratos delgados de calizas nodulares (Packstone) de 10cm a 15cm aproximadamente, presenta escasos fósiles sementadas en las calizas masivas, esta facie tiene un aproximado de 20 m de espesor.



Fotografía N° 14: Intercalación de estratos de calizas masivas con calizas nodulares. A) Calizas nodulares de textura Wackestone visto con lupa de aumento de 20x. B) Muestra de mano de una caliza masiva de textura tipo Packstone.

- **Facies: Calizas masivas de textura Wackestone**

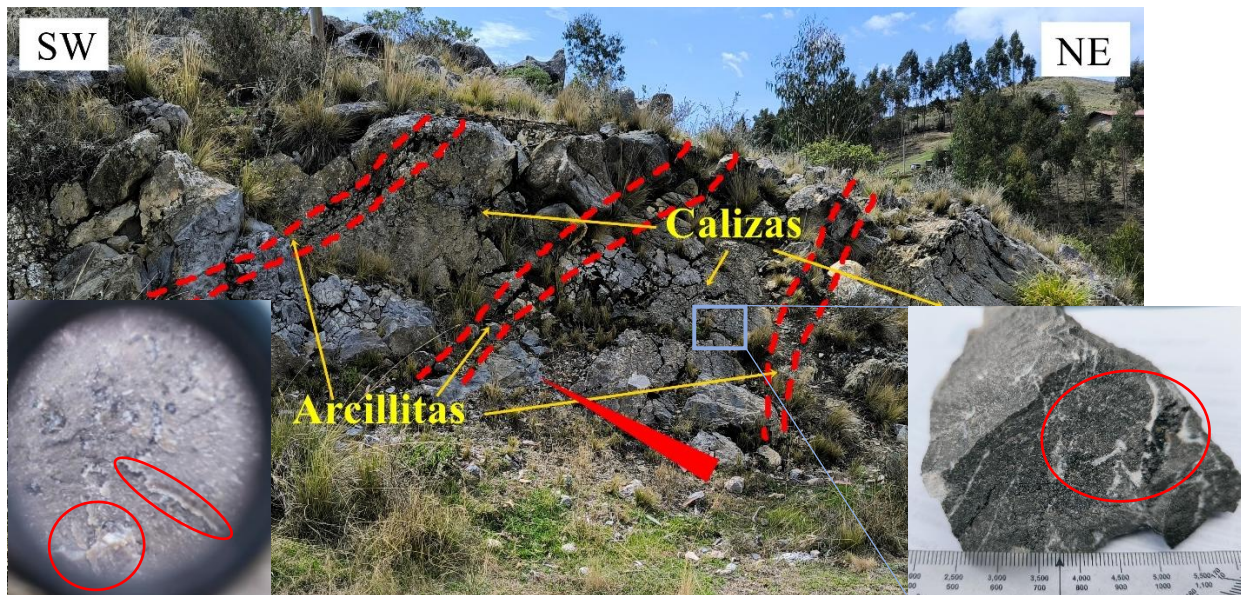
Esta facie está compuesta de calizas masivas de textura Wackestone con estratos de 1.20m a 1.60m de espesor intercaladas con niveles delgados de arcillitas, presentando estratos de secuencia directa, con un grosor de 15m. Estas calizas presentan bajo contenido de fósiles.



Fotografía N° 15: Estratos de calizas intercaladas con niveles de arcillitas, en la parte izquierda se presenta una imagen de caliza de textura Wackestone.

- **Facies: Calizas masivas de textura Grainstone**

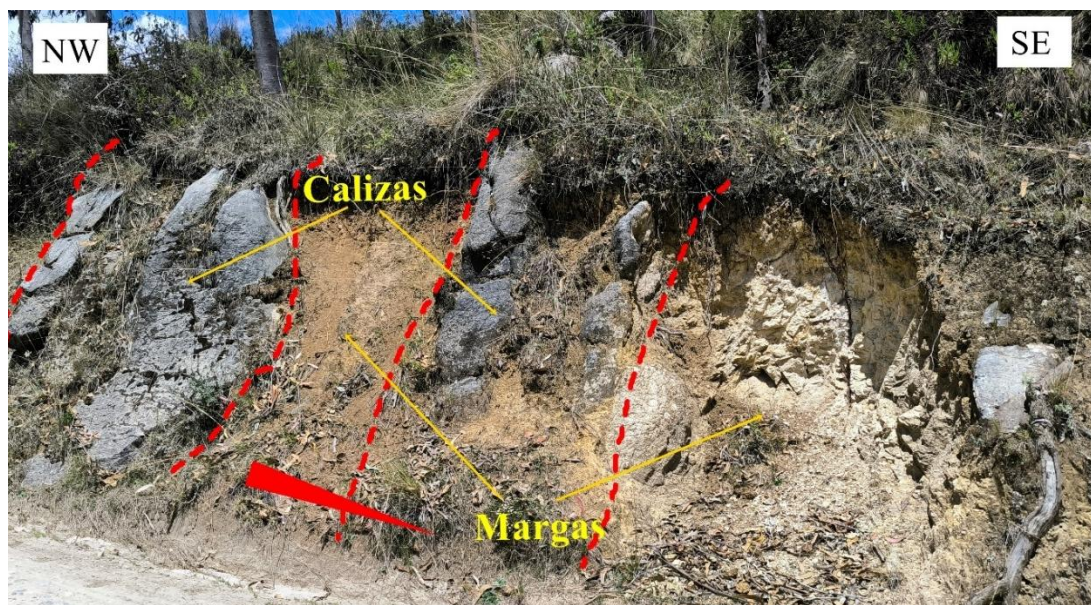
Esta facie se caracteriza por presentar calizas masivas de textura Grainstone con un espesor promedio de 60cm a 90cm, intercaladas con escasos niveles de arcillitas, esta secuencia es de depositación directa con un grosor de 9 m, presentando fósiles de clase bivalvia(Mermeli).



Fotografía N° 16: Estratos de calizas masivas de textura Grainstone intercaladas con niveles delgados de arcillitas.

- **Facies: Calizas intercaladas con margas.**

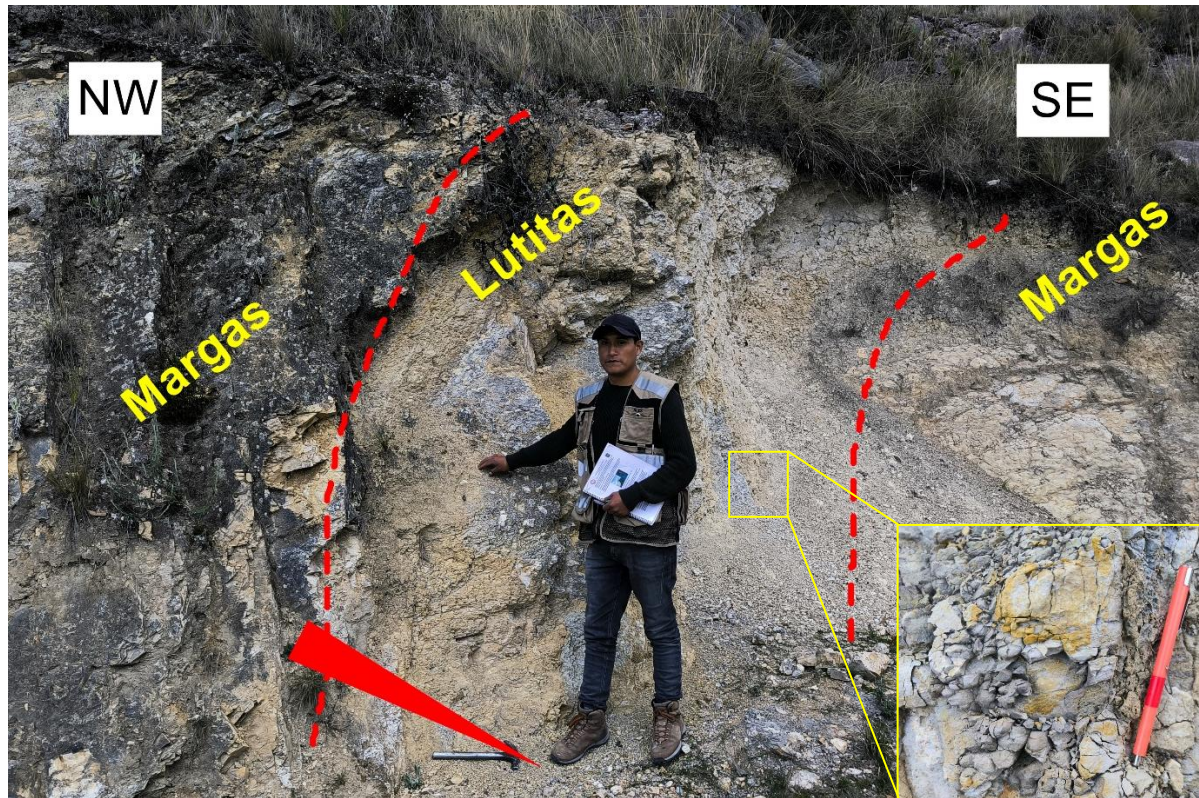
Esta facie es de secuencia inversa presentando estratos de calizas con espesor de 30cm a 50cm intercaladas con estratos delgados de margas de 10 a 15 cm y pequeños niveles delgados de arcillitas. Esta facie se caracteriza por no presentar fósiles.



Fotografía N° 17: Estratos de calizas con un espesor promedio de 40cm intercaladas con margas y una secuencia inversa.

- **Facies: Margas intercaladas con lutitas**

Facie de secuencia inversa con un grosor de 20m aproximadamente, presentando estratos delgados de margas de 10cm a 15cm de grosor intercalados con lutitas de 2 a 5 cm de grosor, esta facie no presenta fósiles.



Fotografía Nº 18: Estratos de margas intercaladas con lutitas, presentando una secuencia inversa.

3.4.4. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL CENTRO POBLADO DE MAJADAPAMPA

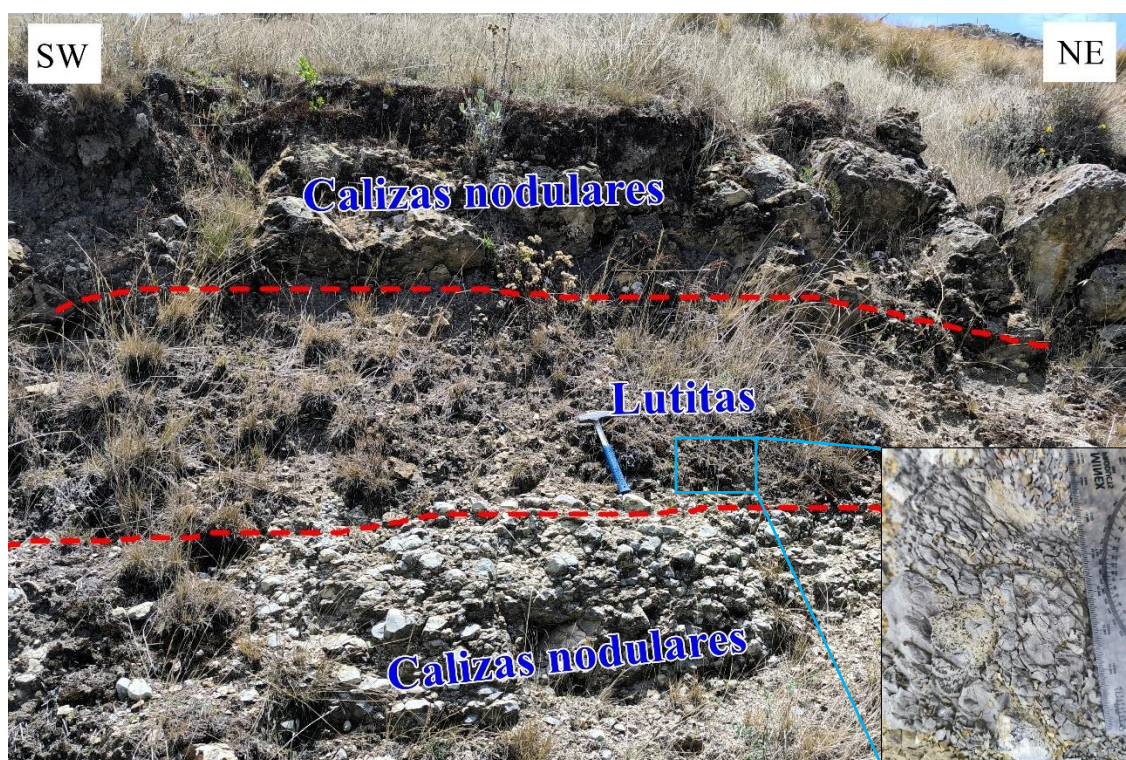
La litoestratigrafía en el centro poblado de Majadapampa contiene dos miembros como son, el miembro medio y miembro superior, presentando estratos gruesos de calizas Packstone y estratos delgados de calizas nodulares intercaladas con arcillitas, donde también se aprecia la intercalación de calizas y margas con calizas nodulares.

3.4.4.1. Unidades litoestratigráficas del Miembro Medio

a) Facies litoestratigráficas

- **Facies: Calizas nodulares intercaladas con lutitas de laminación delgada.**

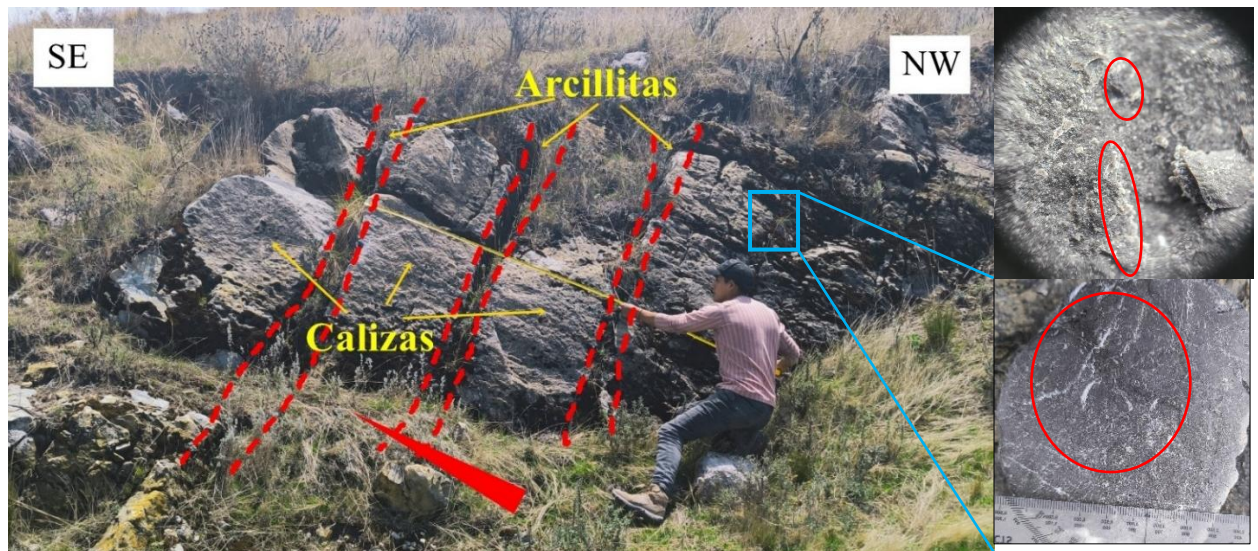
Esta facie presenta una secuencia rítmica con un grosor aproximado de 50m, esta compuestas por estratos de calizas nodulares con un grosor de 10cm a 15cm, intercaladas con niveles delgados capas de lutitas, presentando fósiles de la clase bivalva (Pectinata y Pecten) en las calizas nodulares.



Fotografía N° 19: Estratos de calizas nodulares con un grosor aproximado de 50m intercaladas con lutitas.

- **Facies: Calizas intercaladas con arcillitas.**

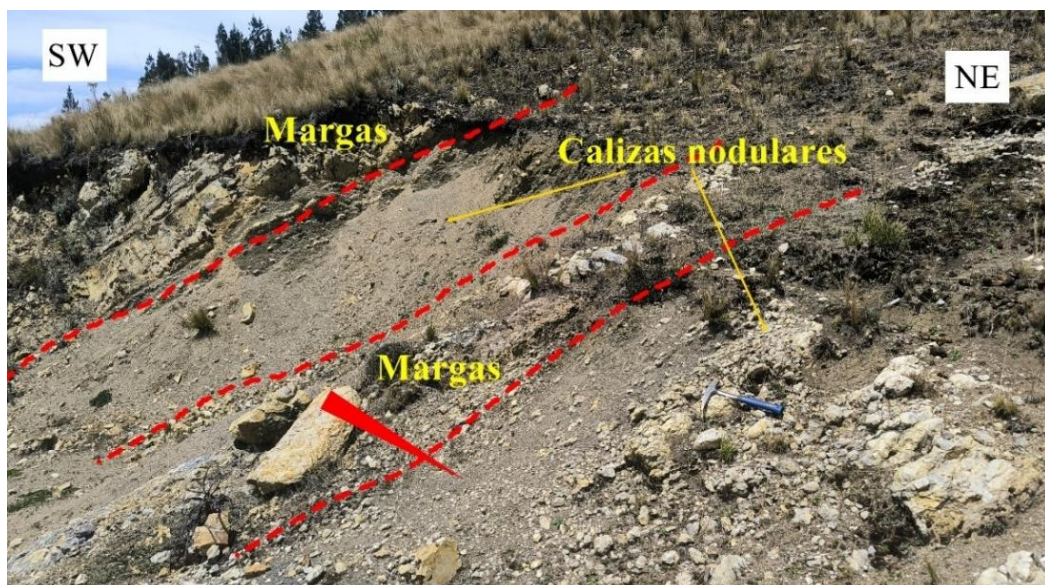
Facies de secuencia directa con un grosor aproximado de 20 m, está compuesta por calizas de textura Packstone de 1.10m a 1.50m, intercalada con pequeñas láminas de arcillitas, esta facies de secuencia directa, presentando bajo contenido de fósiles.



Fotografía N° 20: Estratos de calizas de textura Packstone con un espesor de 1.10m a 1.50m, intercaladas con niveles de arcillitas, presentando una secuencia directa.

- **Facies: Calizas nodulares intercaladas con margas de estratificación mediana.**

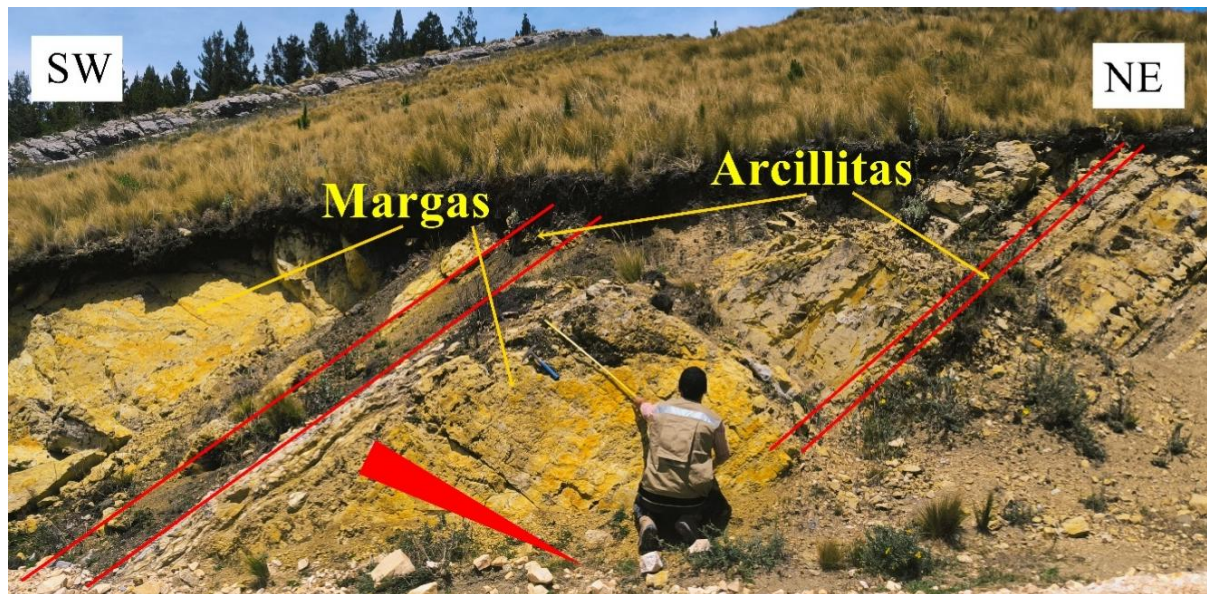
Esta facie es de secuencia inversa presenta estratos de calizas nodulares de 10cm a 30cm de espesor con presencia de bioclastos intercaladas con margas de estratificación mediana de 20 a 30 cm, las calizas nodulares presentan gran contenido de fósiles de la clase bivalvia (Pectinata y Pecten). Esta facie tiene un espesor de 30m.



Fotografía N° 21: Estratificación de calizas nodulares intercaladas con estratos medianos de margas, presentando una secuencia inversa.

- **Facies: Margas intercaladas con arcillitas**

Facie de secuencia inversa con un espesor de 30m aproximadamente, presenta margas de 20cm a 30cm de grosor, intercaladas con niveles delgados de arcillitas, esta facie se caracteriza por presentar estratos de margas con alto contenido de bioclastos, pero cuando esta junto a las arcillitas estas margas poseen muy bajo contenido de bioclastos. Esta facie no presenta fósiles.



Fotografía N° 22: Estratos de margas intercaladas con arcillitas, presentando una secuencia inversa.

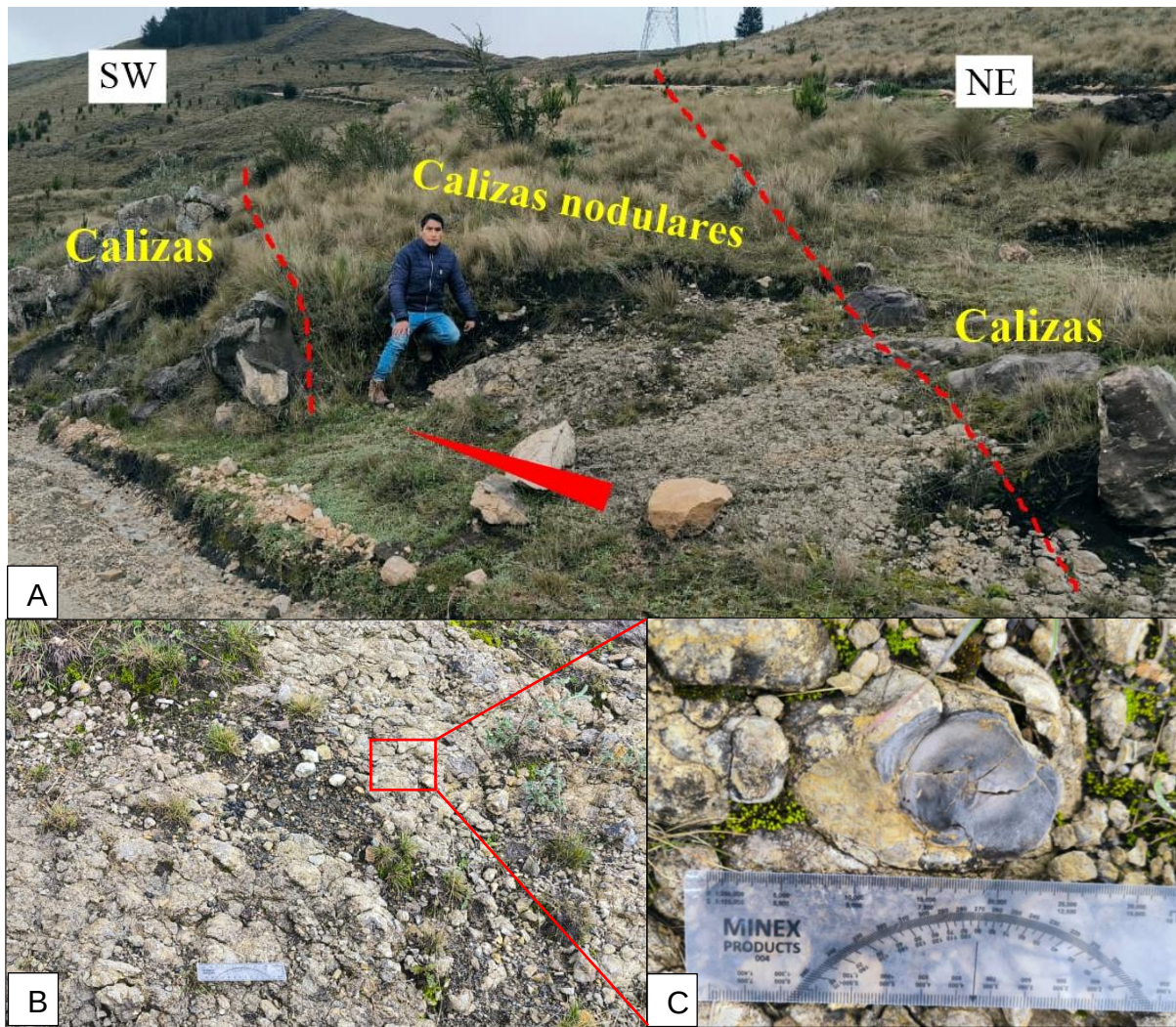
3.4.4.2. Unidades litoestratigráficas del Miembro Superior

Esta unidad litoestratigráfica se encuentra en el techo de la Formación Yumagual y el piso de la Formación Mujarrúm, presentandose en su mayoría cubierta de vegetación, erosionado e intemperizado por lo cual no se ha podido observar el contacto directo visible de dicho Miembro con la Formación Mujarrúm y Grupo Quilquiñan.

a) **Facies litoestratigráficas**

- **Facies: Calizas masivas intercaladas con calizas nodulares**

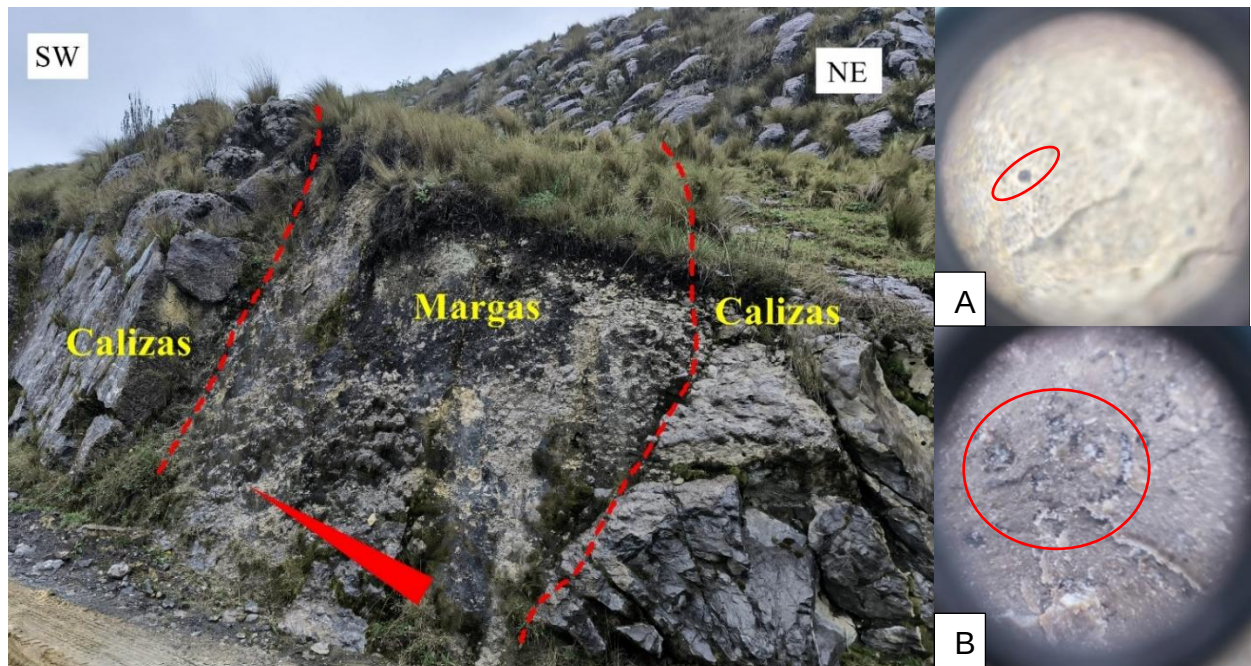
Esta facie es de secuencia directa presentando calizas masivas con un grosor de 90cm a 1.20m intercaladas con calizas nodulares de 5 a 10 cm y a su vez presenta gran cantidad de fósiles de clase bivalvia (Pectinata, Pecten y Scyphax). Esta facie tiene un grosor de 10m a 20m metros.



Fotografía N° 23: A) Estratos de calizas intercaladas con calizas nodulares presentando, presentando una secuencia directa. B) calizas fosilíferas con biozonas de clase bivalvia C.) Fósil de la especie Pectinata encontrada en el miembro superior.

- **Facies: Calizas de textura Wackestone intercaladas con margas Mudstone**

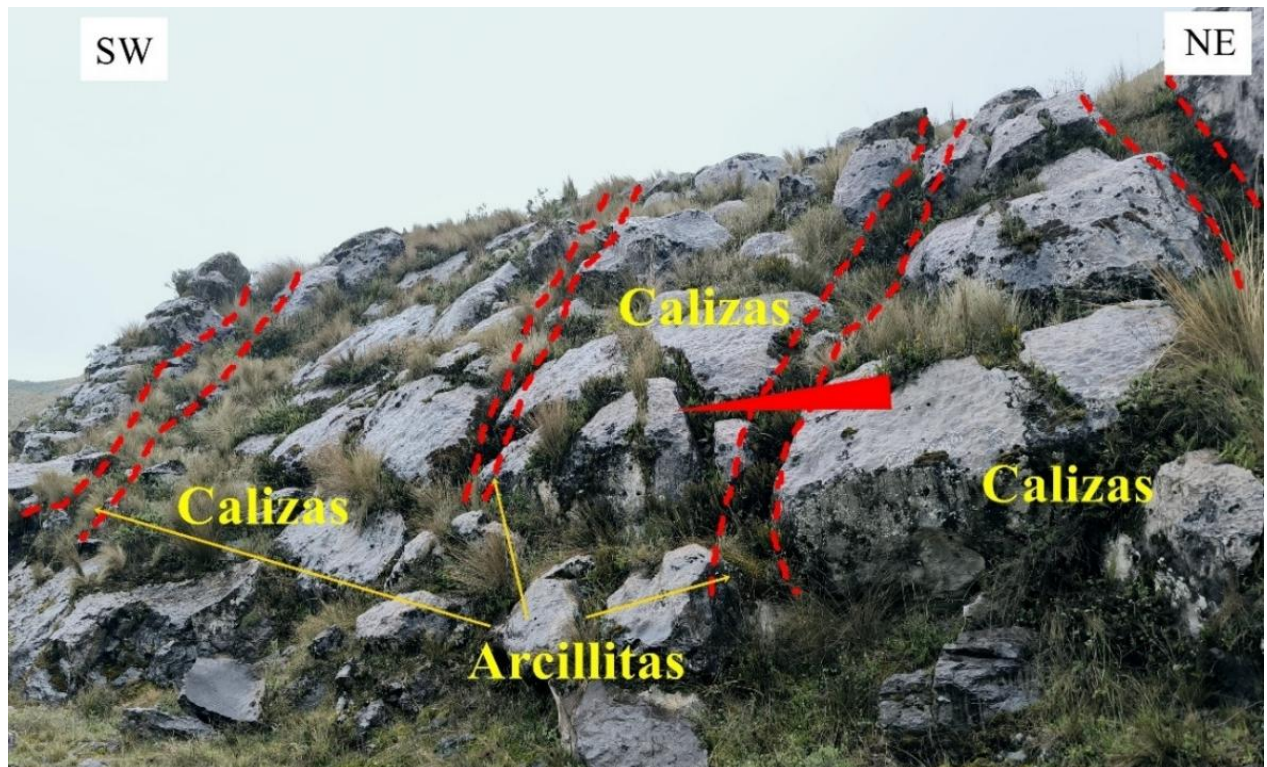
Facie de secuencia directa con un grosor de 30m aproximadamente, presenta estratos de calizas de textura Wackestone con un espesor de 50cm a 90cm intercaladas con estratos delgados de margas de textura Mudstone, esta facie presenta fósiles de la especie Mermeli en las calizas Wackestone.



Fotografía N° 24: Estratos de calizas de textura Wackestone intercaladas con margas de textura Mudstone. A) Muestra de una marga de textura Mudstone, visto con lupa de aumento de 20x. B) Muestra de caliza de textura Wackestone.

- **Facies: Calizas masivas intercaladas con arcillitas de laminación delgada.**

Esta facie es de una secuencia directa, con un espesor de 20m aproximadamente, presentando estratos de calizas masivas de 80cm a 1.20m de espesor, intercaladas con niveles delgados de arcillitas. En esta facie presenta bajo contenido de fósiles.



Fotografía N° 25: Estratos de calizas masivas intercaladas con niveles delgados de arcillitas.

3.5. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Las estructuras sedimentarias encontradas en la unidad litoestratigráfica de la Formación Yumagual se describen a continuación:

3.5.1. Estratificación paralela

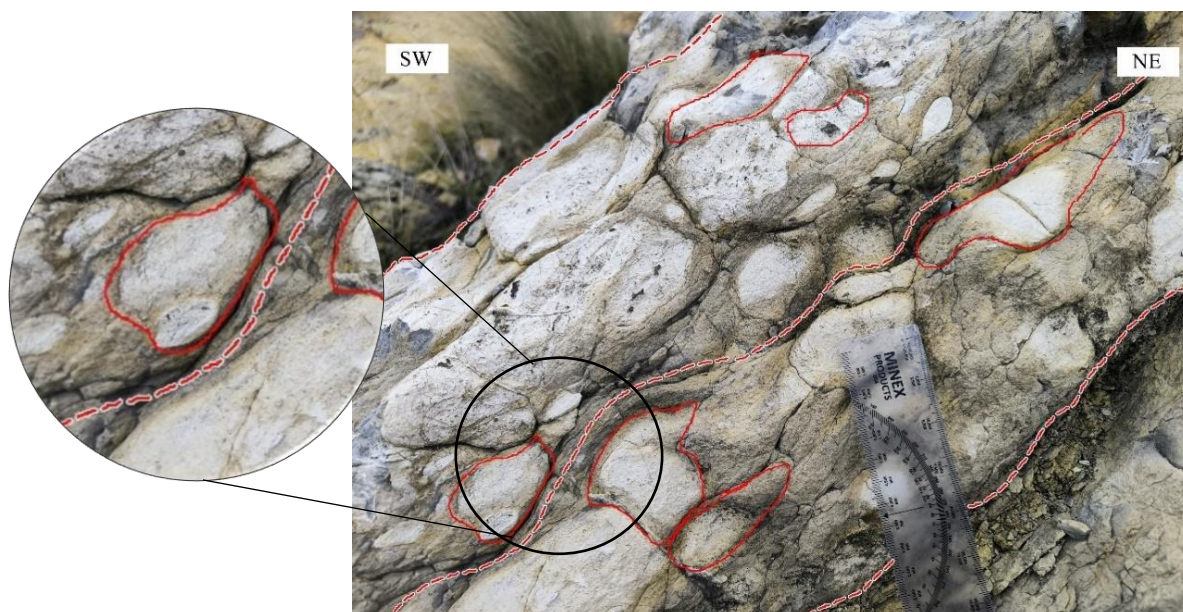
Esta estratificación lo podemos encontrar entre el miembro inferior y en miembro medio de la Formación Yumagual, que consta de calizas de textura Wackestone intercalada con arcillitas, la cual nos indica que es de un ambiente tranquilo de baja energía hidráulica.



Fotografía N° 26: Estratificación paralela del miembro inferior de la Fm. Yumagual encontrada en el centro poblado de Chamis Alto.

3.5.2. Estructura de carga (Load marks)

Estas estructuras se encontraron en el miembro medio y miembro superior de la Formación Yumagual, con intercalación de calizas, margas y arcillitas son estructuras de deformación que nos indica que hay diferencias de densidades entre capas de sedimentos o presiones ejercidas por capas de sedimentos más densos sobre sedimentos menos consolidados.



Fotografía N° 27: Estructura de carga de intercalación de calizas, margas y arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual.

3.5.3. Bioturbación

La bioturbación se debe a organismos bentónicos(bivalvos) durante o después de su sedimentación que corta o perturba la estratificación, teniendo una estructura irregular.



Fotografía N° 28: Bioturbación encontrada en margas de la Formación Yumagual del Miembro Medio en el centro poblado de Majadapampa.

3.5.4. Estratificación lenticular

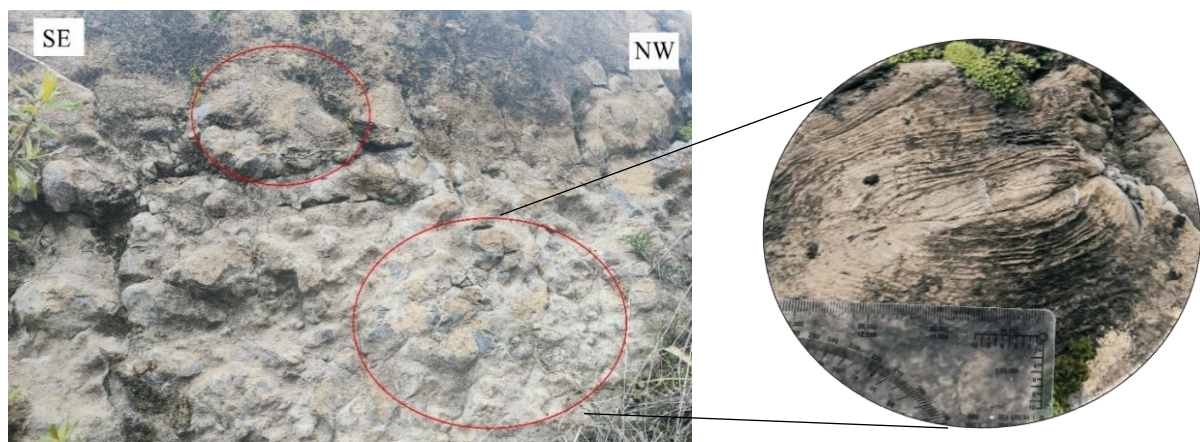
Esta estructura se presenta en los tres miembros de la Formación Yumagual, que consta de estratos de caliza de textura Mudstone intercalada con arcillitas la cual refleja fluctuaciones de energía hidráulica y sedimentación, típica de ambientes marinos someros influenciados por mareas o corrientes costeras.



Fotografía N° 29: Estratificación lenticular del miembro inferior de la Fm. Yumagual en el centro poblado de Chamis Alto.

3.5.5. Estromatolitos

La presencia de estromatolitos dentro de los estratos de calizas carbonatadas en la Formación Yumagual nos indican que es de un ambiente marino somero (plataforma carbonatada) con aguas de baja energía, estos estromatolitos fueron encontradas en el miembro medio de dicha Formación en el centro poblado de Chamis Alto.



Fotografía N° 30: Estromatolitos dentro de las calizas de textura Packstone del miembro medio de la Fm. Yumagual.

3.6. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA

En la zona de estudio se clasificaron las siguientes muestras de rocas.

Tabla 6. Clasificación petrológica de la caliza Mudstone del Miembro Inferior

LOCALIDAD					Centro Poblado de Chamis Alto				
FORMACIÓN		Fm. Yumagual			UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA			Miembro Inferior	
FOLK (1959 - 1962)					DUNHAM (1962)				
% de componentes	Tipo calcáreo (matriz)				Igual cantidad de Micrita y Esparita	2/3 de cemento tardío (Esparita)			Textura deposicional no reconocible
	0-1%	1-10%	10-50%	Arriba de 50%		Mal sorteado	Bien sorteado	redondeado	
Nombre representativo	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita poco empaquetada	Biomícrita bien empaquetada	Bioesparita poco lavada	Bioesparita no sorteada	Bioesparita sorteada	Bioesparita con componente redondeados	Textura deposicional no reconocible
									
Terminología de Folk 1959	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita		Bioesparita				
Análogo clástico	Lutita	Lutita arenosa	Arenisca arcillosa inmadura	Arenisca poco madura	Arenisca madura	Arenisca sobremadura			

Textura deposicional reconocible					Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación				Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bio-construcción	
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
					

FOTOGRAFÍA		ESTE	767920
COORDENADAS	NORTE	9210424	
	COTA	3439 msnm	
	DUNHAM (1962)	Caliza Mudstone	
CLASIFICACIÓN SEGÚN	FOLK (1959-1962)	Caliza Micrítica	
Caliza gris amarillenta encontrada en el piso de la Formación Yumagual, contiene 35% de limos, 45% de micrita, 1% de fósiles.			

Tabla 7. Clasificación petrológica de la caliza Wakestone del Miembro Inferior

LOCALIDAD		Centro Poblado de Chamis Alto																																																
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Inferior																																															
FOLK (1959 - 1962)		DUNHAM (1962)																																																
% de componentes	<table><tr><td colspan="4">Lodo calcáreo (matriz)</td><td colspan="2">Igual cantidad de Micrita y Esparita</td><td colspan="2">2/3 de cemento tardío (Esparita)</td></tr><tr><td>0-1%</td><td>1-10%</td><td>10-50%</td><td>Arriba de 50%</td><td>Mal sorteado</td><td>Bien sorteado</td><td colspan="2">redondeado</td></tr></table>	Lodo calcáreo (matriz)				Igual cantidad de Micrita y Esparita		2/3 de cemento tardío (Esparita)		0-1%	1-10%	10-50%	Arriba de 50%	Mal sorteado	Bien sorteado	redondeado		<table><tr><td colspan="5">Textura deposicional reconocible</td><td rowspan="5">Textura deposicional no reconocible</td></tr><tr><td colspan="5">Componentes originales no unidos durante la sedimentación</td></tr><tr><td colspan="3">Con barro micrítico</td><td colspan="2">Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico</td></tr><tr><td colspan="2">Esqueleto matriz-soportado</td><td colspan="2">Esqueleto grano-soportado</td></tr><tr><td>< 10 % granos</td><td>> 10 % granos</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>Mudstone</td><td>Wackestone</td><td>Packstone</td><td>Grainstone</td><td>Boundstone</td><td>Cristalina</td></tr></table>			Textura deposicional reconocible					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
Lodo calcáreo (matriz)				Igual cantidad de Micrita y Esparita		2/3 de cemento tardío (Esparita)																																												
0-1%	1-10%	10-50%	Arriba de 50%	Mal sorteado	Bien sorteado	redondeado																																												
Textura deposicional reconocible					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																																													
Nombre representativo	<table><tr><td>Micrita y dismicrita</td><td>Micrita con biógenos</td><td>Biomicrita poco empaquetada</td><td>Biomicrita bien empaquetada</td><td>Bioesparita poco lavada</td><td>Bioesparita no sorteada</td><td>Bioesparita sorteada</td><td>Bioesparita con componentes redondeados</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomicrita poco empaquetada	Biomicrita bien empaquetada	Bioesparita poco lavada	Bioesparita no sorteada	Bioesparita sorteada	Bioesparita con componentes redondeados																																									
Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomicrita poco empaquetada	Biomicrita bien empaquetada	Bioesparita poco lavada	Bioesparita no sorteada	Bioesparita sorteada	Bioesparita con componentes redondeados																																											
Terminología de Folk 1959	<table><tr><td>Micrita y dismicrita</td><td>Micrita con biógenos</td><td colspan="2">Biomicrita</td><td colspan="4">Bioesparita</td></tr></table>	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomicrita		Bioesparita																																												
Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomicrita		Bioesparita																																														
Análogo clástico	<table><tr><td>Lutita</td><td>Lutita arenosa</td><td>Arenisca arcillosa inmadura</td><td>Arenisca poco madura</td><td>Arenisca madura</td><td colspan="2">Arenisca sobremadura</td></tr></table>	Lutita	Lutita arenosa	Arenisca arcillosa inmadura	Arenisca poco madura	Arenisca madura	Arenisca sobremadura																																											
Lutita	Lutita arenosa	Arenisca arcillosa inmadura	Arenisca poco madura	Arenisca madura	Arenisca sobremadura																																													

FOTOGRAFÍA	ESTE	767872	
	COORDENADAS	NORTE	9210388
		COTA	3448 msnm
	CLASIFICACIÓN SEGÚN	DUNHAM (1962)	Caliza Wakestone
		FOLK (1959- 1962)	Caliza Micrítica con biógenos
Caliza gris oscura con 1% de limos y 90% de esparíta, 3% de fósiles, matriz soportada y con contenido micrítico.			

Tabla 8. Clasificación petrológica de la caliza Wackestone del Miembro Medio

LOCALIDAD		Centro Poblado de Chamis Alto						
FORMACIÓN		Fm. Yumagual			UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA			Miembro medio
FOLK (1959 - 1962)					DUNHAM (1962)			
% de componentes	Lodo calcáreo (matriz)				Igual cantidad de Micrita y Esparita		2/3 de cemento tardío (Esparita)	
	0-1%	1-10%	10-50%	Arriba de 50%	Mal sorteado	Bien sorteado	redondeado	
Nombre representativo	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita poco empaquetada	Biomícrita bien empaquetada	Bioesparita poco lavada	Bioesparita no sorteada	Bioesparita sorteada	Bioesparita con componentes redondeados
Terminología de Folk 1959	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita		Bioesparita			
Análogo clástico	Lutita	Lutita arenosa	Arenisca arcillosa inmadura	Arenisca poco madura	Arenisca madura	Arenisca sobremadura		

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

FOTOGRAFÍA

ESTE767815

COORDENADAS

NORTE9210335

COTA3453 msnm

DUNHAM (1962)Caliza Wakestone

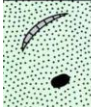
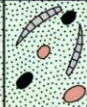
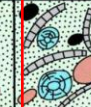
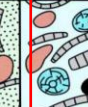
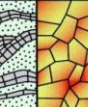
CLASIFICACIÓN SEGÚN

FOLK (1959-1962)Caliza Micrítica con biógenos

Caliza gris oscura con matriz soportada con más de 10% de granos, 1% de limos y 80% de esparita, 2% de fósiles.

Tabla 9. Clasificación petrológica de la caliza Packstone del Miembro Medio

LOCALIDAD				Centro Poblado de Chamis Alto			
FORMACIÓN		Fm. Yumagual		UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA		Miembro medio	
FOLK (1959 - 1962)				DUNHAM (1962)			
% de componentes	Lodo calcáreo (matriz)			Igual cantidad de Micrita y Esparita	2/3 de cemento tardío (Esparita)		
	0-1%	1-10%	10-50%	Arriba de 50%	Mal sorteado	Bien sorteado	redondeado
Nombre representativo	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita poco empaquetada	Biomícrita bien empaquetada	Bioesparita poco lavada	Bioesparita no sorteada	Bioesparita con componentes redondeados
							
Terminología de Folk 1959	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita	Bioesparita			
Análogo clástico	Lutita	Lutita arenosa	Arenisca arcillosa inmadura	Arenisca poco madura	Arenisca madura	Arenisca sobremadura	

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
					

FOTOGRAFÍA	ESTE	767686
	COORDENADAS	NORTE 9210095
		COTA 3473 msnm
		DUNHAM (1962) Caliza Packstone
CLASIFICACIÓN SEGÚN	FOLK (1959-1962)	Caliza Biomícrita



Caliza gris pardusca con grano soportado, 2% de limos, 90% de biomícrita, 10% de contenido de fósiles y posee una fractura irregular.

Tabla 10. Clasificación petrológica de la caliza Mudstone del Miembro Medio

LOCALIDAD

Centro Poblado de Majadapampa

FORMACIÓN

Fm. Yumagual

UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA

Miembro medio

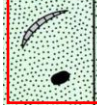
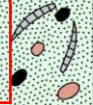
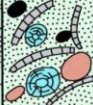
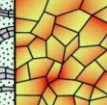
FOLK (1959 - 1962)

	Lodo calcáreo (matriz)				Igual cantidad de Micrita y Esparita	2/3 de cemento tardío (Esparita)		
% de componentes	0-1%	1-10%	10-50%	Arriba de 50%		Mal sorteado	Bien sorteado	redondeado
Nombre representativo	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita poco empaquetada	Biomícrita bien empaquetada	Bioesparita poco lavada	Bioesparita no sorteada	Bioesparita sorteada	Bioesparita con componentes redondeados
Terminología de Folk 1959	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita		Bioesparita			
Análogo clásico	Lutita	Lutita arenosa	Arenisca arcillosa inmadura		Arenisca poco madura	Arenisca madura	Arenisca sobremadura	

FOTOGRAFÍA



DUNHAM (1962)

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

ESTE

763324

COORDENADAS

NORTE

9212326

COTA

3795 msnm

DUNHAM (1962)

Marga Mudstone

CLASIFICACIÓN SEGÚN

FOLK (1959-1962)

Caliza Micrítica

Margas arcillosas amarillentas, de brillo opaco con 80% de limos, 5% de micrita, matriz soportada con menos de 10% de granos.

Tabla 11. Clasificación petrológica de la caliza Packstone del Miembro Superior

LOCALIDAD				Centro Poblado de Carhuaquero			
FORMACIÓN		Fm. Yumagual		UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA		Miembro Superior	
FOLK (1959 - 1962)				DUNHAM (1962)			
% de componentes	Lodo calcáreo (matriz)			Igual cantidad de Micrita y Esparita	2/3 de cemento tardío (Esparita)		
	0-1%	1-10%	10-50%	Arriba de 50%	Mal sorteado	Bien sorteado	redondeado
Nombre representativo	Micrita y dismicrita	Micrita con biogenos	Biomícrita poco empaquetada	Biomícrita bien empaquetada	Bioesparita poco lavada	Bioesparita no sorteada	Bioesparita con componentes redondeados
Terminología de Folk 1959	Micrita y dismicrita	Micrita con biogenos	Biomícrita		Bioesparita		
Análogo clásico	Lutita	Lutita arenosa	Arenisca arcillosa inmadura		Arenisca poco madura	Arenisca madura	Arenisca sobremadura

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

FOTOGRAFÍA

COORDENADAS	ESTE	767340
	NORTE	9209745
	COTA	3497 msnm
CLASIFICACIÓN SEGÚN	DUNHAM (1962)	Caliza Packstone
	FOLK (1959-1962)	Caliza Biomicrítica
	Caliza gris pardusca con grano soportado, 2% de limos, 90% de esparita, 30% de micrita, 10% de contenido de fósiles con venillas rellenas de calcita y fractura irregular.	



Tabla 12. Clasificación petrológica de la caliza Wackestone del Miembro Superior

LOCALIDAD				Centro Poblado de Majadapampa			
FORMACIÓN		Fm. Yumagual		UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA		Miembro Superior	
FOLK (1959 - 1962)				DUNHAM (1962)			
% de componentes	Lodo calcáreo (matriz)			Igual cantidad de Micrita y Esparita		2/3 de cemento tardío (Esparita)	
	0-1%	1-10%	10-50%	Arriba de 50%	Mal sorteado	Bien sorteado	redondeado
Nombre representativo	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita poco empaquetada	Biomícrita bien empaquetada	Bioesparita poco lavada	Bioesparita no sorteada	Bioesparita con componentes redondeados
Terminología de Folk 1959	Micrita y dismicrita	Micrita con biógenos	Biomícrita		Bioesparita		
Análogo clástico	Lutita		Lutita arenosa	Arenisca arcillosa inmadura	Arenisca poco madura	Arenisca madura	Arenisca sobremadura

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

FOTOGRAFÍA

COORDENADAS	ESTE	763535
	NORTE	9212072
	COTA	3740 msnm
	DUNHAM (1962)	Caliza Packstone
	CLASIFICACIÓN SEGÚN	FOLK (1959- 1962)
Caliza gris pardusca con matriz soportada con más de 10% de granos, 2% de limos y 80% de esparita, 2% de fósiles.		

Tabla 123. Clasificación petrológica de la Arcillolita del Miembro Superior

LOCALIDAD		Centro Poblado de Carhuaquero	
COORDENADAS	ESTE	767325	
	NORTE	9209747	
	COTA	3499 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Superior
FOTOGRAFÍA		DESCRIPCIÓN	
		Arcillitas amarillentas de baja porosidad presentes en las intercalaciones de las margas y calizas, de la misma manera encontrándose en las zonas de fallas.	
		CLASIFICACIÓN SEGÚN:	TERUGGI (1982)
		Arcillita	

3.7. BIOESTRATIGRAFÍA

La clasificación paleontológica se realizó con formatos de clasificaciones paleontológicas del INGEMMET, y la clasificación taxonómica de fósiles según Linneo (1758).

Tabla 13. Clasificación paleontológica del fósil Exogyra Mermeli del Miembro Inferior.

LOCALIDAD		Centro Poblado de Chamis Alto	
COORDENADAS	ESTE	767922	
	NORTE	9210427	
	COTA	3441 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Inferior
		CLASIFICACIÓN	
		Reino	Animalia
		Phylum	Mollusca
		Clase	Bivalvia
		Orden	Disodontida
		Familia	Gryphaeidae
		Genero	Exogyra
		Especie	Mermeli
		Edad	Cenomaniano
DESCRIPCIÓN		Fósil de 3cm de ancho 5cm de largo y 2.5cm de grosor, color amarillento, encontrado en las calizas Wackestone.	

Tabla 14. Clasificación paleontológica del fósil Gasteropoda Tylostoma del Miembro Inferior

LOCALIDAD		Centro Poblado de Chamis Alto	
COORDENADAS	ESTE	767862	
	NORTE	9210375	
	COTA	3450 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Inferior
		CLASIFICACIÓN	
		Reino	Animalia
		Phylum	Mollusca
		Clase	Gasteropoda
		Orden	Sorbeoconcha
		Familia	Tylostomatidae
		Genero	Tylostoma
		Edad	Coniaciano
DESCRIPCIÓN		Fósil de 2cm de largo y 0.8cm de grosor, incrustada en una caliza fosilífera de textura Packstone.	

Tabla 15. Clasificación paleontológica del fósil Ostrea Scyphax del Miembro Inferior

LOCALIDAD		Centro Poblado de Chamis Alto	
COORDENADAS	ESTE	767858	
	NORTE	9210375	
	COTA	3451 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Inferior
		CLASIFICACIÓN	
		Reino	Animalia
		Phylum	Mollusca
		Clase	Bivalvia
		Orden	Ostreoidae
		Familia	Ostreidae
		Genero	Ostrea
		Especie	Scyphax
		Edad	Coniaciano-Santoniano
DESCRIPCIÓN	Fósil de color gris pardusco, de 10cm de largo, 9cm de ancho 2.5cm de grosor, presente en el afloramiento del miembro inferior		

Tabla 16. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata del Miembro Inferior

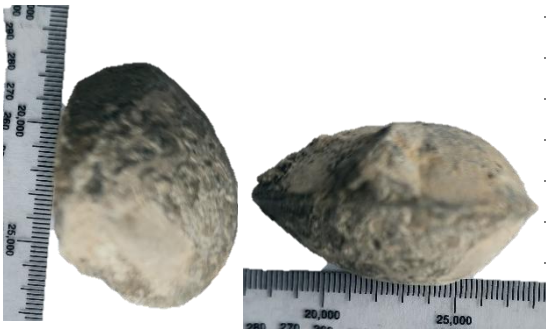
LOCALIDAD		Centro Poblado de Chamis Alto	
COORDENADAS	ESTE	767938	
	NORTE	9210436	
	COTA	3741 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Inferior
		CLASIFICACIÓN	
		Reino	Animalia
		Phylum	Mollusca
		Clase	Bivalvia
		Orden	Nuculoidea
		Familia	Nuculidae
		Genero	Nucula
		Especie	Pectinata
		Edad	Coniaciano
DESCRIPCIÓN	Pequeño bivalvo de 3.5cm de largo, 2.5cm de ancho y 1cm de grosor, este fósil se encuentra en el afloramiento entre las margas y calizas de textura Mudstone		

Tabla 17. Clasificación paleontológica del fósil Bivalvia Ceratostreon sp del Miembro Medio

LOCALIDAD	Centro Poblado de Chamis Alto		
COORDENADAS	ESTE	767686	
	NORTE	9210083	
	COTA	3475 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Medio
 		CLASIFICACIÓN	
		Reino	Animalia
		Phyllum	Mollusca
		Clase	Bivalvia
		Orden	Ostreoida
		Familia	Gryphaeidae
		Genero	Ceratostreon sp (exogyra)
		Edad	Cenomaniano
DESCRIPCIÓN	Pequeños Bivalvos de 2.5 cm de largo, sedimentado en las calizas de textura Packstone, en el miembro medio.		

Tabla 18. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata del Miembro Medio

LOCALIDAD	Centro Poblado de Chamis Alto		
COORDENADAS	ESTE	767678	
	NORTE	9210093	
	COTA	3468 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Medio
		CLASIFICACIÓN	
		Reino	Animalia
		Phyllum	Mollusca
		Clase	Bivalvia
		Orden	Nuculoidea
		Familia	Nuculidae
		Genero	Nucula
		Especie	Pectinata
		Edad	Coniaciano
DESCRIPCIÓN	Bivalvos grises pardusco de 2.5cm de largo, 2cm de ancho y 1cm de grosor presentes en las intercalaciones de las calizas nodulares.		

Tabla 19. Clasificación paleontológica del fósil Bivalvia Lophia del Miembro Superior

LOCALIDAD		Centro Poblado de Carhuaquero	
COORDENADAS	ESTE	767351	
	NORTE	9209775	
	COTA	3499 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Superior
		CLASIFICACIÓN	
		Reino	Animalia
		Phylum	Mollusca
		Clase	Bivalvia
		Orden	Ostreida
		Familia	Pteriomorphia
		Genero	Lophia
		Especie	Lophia sp
		Edad	Cenomaniano
DESCRIPCIÓN		Este fósil se encuentra sedimentado en las calizas nodulares de textura Packstone característico de sedimentaciones marinas.	

Tabla 20. Clasificación paleontológica del fósil Bivalvia Scyphax del Miembro Superior

LOCALIDAD		Centro Poblado de Carhuaquero	
COORDENADAS	ESTE	767352	
	NORTE	9209771	
	COTA	3498 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Superior
		CLASIFICACIÓN	
		Reino	Animalia
		Phylum	Mollusca
		Clase	Bivalvia
		Orden	Ostreoidae
		Familia	Ostreidae
		Genero	Ostrea
		Especie	Scyphax
		Edad	Coniaciano – Santoniano
DESCRIPCIÓN		Fósil gris pardusco de 8cm de largo, encontrado en los bancos de las calizas de textura Packstone.	

Tabla 21. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata del Miembro Superior

LOCALIDAD		Centro Poblado de Majadapampa	
COORDENADAS	ESTE	767358	
	NORTE	9212076	
	COTA	3743 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Superior
		CLASIFICACIÓN	
		Reino	Animalia
		Phylum	Mollusca
		Clase	Bivalvia
		Orden	Nuculoidea
		Familia	Nuculidae
		Genero	Nucula
		Especie	Pectinata
		Edad	Coniaciano
DESCRIPCIÓN		Bivalvo de 3cm de largo y 2.6cm de ancho, encontrada junto a las calizas fosilíferas de textura Packstone del miembro superior	

Tabla 22. Clasificación paleontológica del fósil Exogyra Mermeli del Miembro Superior

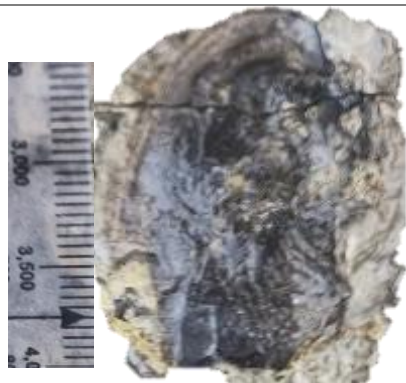
LOCALIDAD		Centro Poblado de Majadapampa	
COORDENADAS	ESTE	767360	
	NORTE	9212073	
	COTA	3742 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Superior
		CLASIFICACIÓN	
		Reino	Animalia
		Phylum	Mollusca
		Clase	Bivalvia
		Orden	Disodontida
		Familia	Gryphaeidae
		Genero	Exogyra
		Especie	Mermeli
		Edad	Cenomaniano
DESCRIPCIÓN		Pequeño fósil de 5cm de largo, sedimentado en el afloramiento de las calizas de textura Packstone.	

Tabla 23. Clasificación paleontológica del fósil *Ostrea Scyphax* del Miembro Superior

LOCALIDAD	Centro Poblado de Majadapampa		
COORDENADAS	ESTE	767370	
	NORTE	9212070	
	COTA	3741 msnm	
FORMACIÓN	Fm. Yumagual	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	Miembro Superior

CLASIFICACIÓN	
Reino	Animalia
Phylum	Mollusca
Clase	Bivalvia
Orden	Ostreoidae
Familia	Ostreidae
Genero	Ostrea
Especie	Scyphax
Edad	Coniaciano-Santoniano

DESCRIPCIÓN	Pequeña ostrea gris oscura, de 7cm de largo encontrado en la parte superior de la Formación Yumagual en el afloramiento de las calizas de textura Packstone.
-------------	--

3.8. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En cada visita a campo que se realizó nos permitió obtener datos litológicos como son calizas de textura (Mudstone, Wackestone y Packstone), calizas nodulares, margas y arcillitas permitiéndonos clasificarlos en diferentes tipos de facies de acuerdo a su litología, de la misma manera se obtuvo restos fosilíferos de la clase (bivalvos, gasterópodos), estos datos nos permitió analizar y presentar dos columnas litoestratigráficas la primera en los centros poblados de Chamis Alto y Carhuaquero (Miembro inferior, medio) y la segunda en el centro poblado de Majadapampa (Miembro medio y superior), de esta manera poder comprender mejor el ambiente de depositación de la Formación Yumagual.

Los datos se resumen en la siguiente Tabla 24.

Tabla 24. Resultados de cada miembro presentando su espesor, litología, textura y facies de la zona de estudio.

UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA		MIEMBRO	ZONA DE ESTUDIO	ESPESOR	LITOLOGÍA	TEXTURA	SECUENCIA	FACIES				
GRUPO PULLUICANA FORMACIÓN YUMAGUAL		SUPERIOR	CARHUAQUERO -MAJADAPAMPA	210m	Calizas	Packstone		Calizas masivas, Calizas nodulares y margas intercaladas con arcillitas				
						Wackestone		Calizas nodulares intercaladas con calizas masivas				
						Mudstone			Calizas y margas intercaladas con arcillitas			
					Calizas Nodulares	Packstone				Calizas Wackestone intercaladas con margas Mudstone		
						Wackestone		Calizas masivas y Calizas nodulares intercaladas con estratos medianos de margas				
						Mudstone			Calizas masivas y calizas nodulares intercaladas con arcillitas y margas			
					Margas	Wackestone				Calizas nodulares y Calizas		
						Mudstone		Calizas Mudstone intercaladas con margas				
					Arcillitas				Calizas intercaladas con arcillitas			
		MEDIO	CHAMIS ALTO - MAJADAPAMPA	240m	Calizas	Wackestone		Calizas nodulares y Calizas				
					Calizas Nodulares	Packstone			Calizas masivas y Calizas nodulares intercaladas con estratos medianos de margas			
						Wackestone				Calizas masivas y calizas nodulares intercaladas con arcillitas y margas		
						Mudstone					Calizas nodulares y Calizas	
					Margas	Mudstone			Calizas Mudstone intercaladas con margas			
					Arcillitas					Calizas intercaladas con arcillitas		
					INFERIOR	CHAMISALTO					Calizas Nodulares	Packstone
									Wackestone			Calizas Mudstone intercaladas con margas
									Calizas	Mudstone	Calizas intercaladas con arcillitas	
		Margas	Mudstone	Calizas intercaladas con arcillitas								
		Arcillitas						Calizas intercaladas con arcillitas				

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE DATOS

La Formación Yumagual en la zona de estudio litoestratigráficamente se diferencian tres miembros presentando las siguientes características:

Miembro inferior se encuentra en el centro poblado de Chamis Alto presentando un espesor aproximado es de 250 m, presenta un contacto neto con la Formación Pariatambo, su litología está compuesta por calizas masivas (Mudstone y Wackestone) de 1.20 m a 1.50 m presentando secuencia directa, seguidamente de estratos de calizas Packstone con un grosor de 80cm a 90cm intercaladas con calizas nodulares (Wackestone) gris parduscas con espesor de 40cm a 50cm intercaladas con niveles muy pocos de arcillitas y margas. Presentando una secuencia inversa. Este miembro se caracteriza por tener alto contenido de fósiles entre los más resaltantes tenemos de a clase Bivalvia (Nucula, Pecten) y Gasteropoda, presentando biozonas en algunas rocas de textura Packstone.

El miembro medio se encuentra ubicado en los centros poblados de Chamis alto y Majadapampa, caracterizándose por presentar secuencia directa con mayores estratos de facies de calizas nodulares (Packstone) con un espesor de 30cm a 40cm, intercalados calizas gris parduscas (Wackestone y Packstone) con un promedio de 90cm a 1.10m de espesor y facies de margas lutaceas amarillentas a gris parduscas intercaladas con calizas nodulares y arcillitas de secuencia rítmica, este miembro tiene un espesor aproximado de 240 metros, presentando alto contenido fosilífero en las calizas nodulares, dicho miembro también se encuentra afectado por estructuras(fallamientos), producto de diferentes eventos tectónicos producidos a través del tiempo.

El Miembro superior de la Formación Yumagual se encuentra ubicado en los centros poblados de Carhuaquero y Majadapampa, tiene un espesor de 210 metros, encontrándose en el techo de la Formación Yumagual y el piso de la Formación Mujarrúm y Grupo Quilquiñan, presenta bancos de caliza gris parduscas (Wackestone y Packstone) con un espesor de 90cm a 1.20cm intercaladas con calizas nodulares(Packstone) de 10 cm a 20 cm, con niveles de arcillitas y margas

amarillentas con espesores de 40cm a 60cm, presentando escaso contenido fosilífero, este miembro en su mayoría de facie es de secuencia directa, de la misma manera se encuentra afectado por estructuras(fallamientos), no se pudo observar el contacto directo visible de dicho miembro con la Formación Mujarrúm y Grupo Quilquiñan debido a que en su mayoría se encuentra erosionado e intemperizado cubierta de vegetación.

4.2. ASOCIACIÓN DE FACIES Y AMBIENTE DEPOSITACIONAL

Las diferentes facies litológicas de la Formación Yumagual encontradas en los centros poblados de Chamis alto, Carhuaquero y Majadapampa pertenece a una zona nerítica (Figura.17) de una plataforma continental carbonatada (Nichols, 2009). El ambiente nerítico (Nichols, 2009) está dividido en zonas de profundidad controlada (Figura.17) aunque las divisiones no están definidas por profundidades absolutas, sino que a profundidades que operan los procesos de sedimentación. Por lo tanto, su alcance varía según las condiciones de una cuenca particular porque las profundidades a las que se producen los procesos de marea, olas y las tormentas que afectan a la plataforma varían considerablemente. (Nichols, 2009).

En la zona costera es la región entre la marea alta, media y bajamar dependiente en el rango de marea (Figura.18).

La cara a la costa es la región de la plataforma entre la marea baja y la profundidad a la que las olas normalmente afectan el fondo del mar (Figura.18), y esto es la base de la onda de buen tiempo.

En aguas más profundas generalmente son de ondas de mayor energía generadas por tormentas que afectan el fondo del mar. La profundidad a la que esto ocurre es la base de la onda de tormenta y esto es muy variable en diferentes estantes.

Esta zona más profunda se denomina transición marina y zona de costa afuera es la región debajo de la base de la onda de tormenta y se extiende hasta el borde de la plataforma. (Nichols, 2009).

Las actividades de factores físicos, químicos y los procesos biológicos están determinados por la profundidad del agua. y a su vez estos influyen en la acumulación de sedimentos en las diferentes partes del fondo marino.

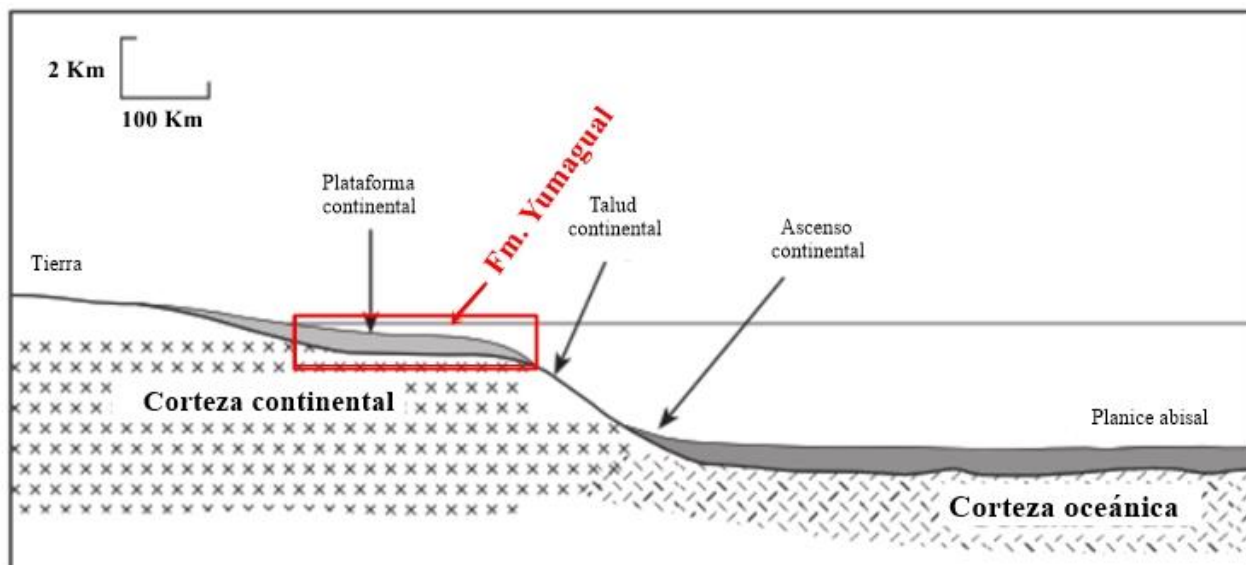


Figura N° 17: Sección transversal de la plataforma y talud continental indicando el color rojo la depositación de la Formación Yumagual

Fuente: Modificado de Nichols, 2009.

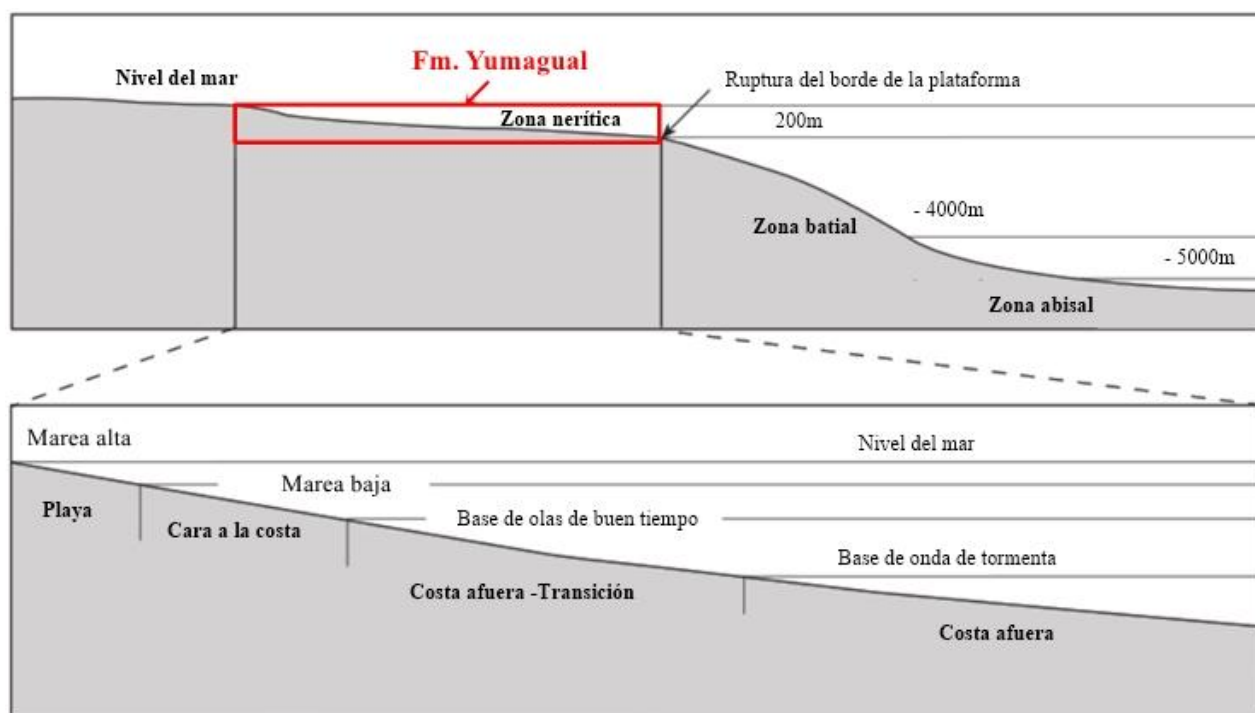


Figura N° 18: Vista del ambiente nerítico la cual está dividido en zonas de profundidad, mostrando desde costa afuera a la cara de la costa de mayor a menor corriente de oleaje.

Fuente: Modificado de Nichols, 2009.

La plataforma carbonatada (Navarro, 2014) tiene entornos de rampa media de mar abierto y rampa interna con aguas poco profundas, para ello las texturas de las rocas calizas fueron un factor para establecer el ambiente deposicional de la Formación Yumagual.

En la rampa interna (zona submareal de poca profundidad), las facies que se encontraron son 1a ,1b y 1c debido a la entrada de los sedimentos por esa razón en la zona podemos encontrar calizas de textura mudstone y wackestone intercaladas con arcillitas y fósiles (bivalvos).

En la facie 1a -1b (Figura.18) se presenta escasa fauna con débil bioturbación y superficies erosivas. En esta facie las rocas se caracterizan por presentar textura Mudstone y Wackestone con alto contenido de materia arcillosa.

En la facie 1b se presenta bancos marinos más abiertos por lo que presenta abundantes restos fosilíferos (bivalvos y gasterópodos), la bioturbación es más intensa.

En el área de estudio las facies litológicas y paleontológicas de rampa interna presentan material arcilloso demostrando baja energía de corriente de oleaje y de poca profundidad.

En la rampa media (mar abierto) presenta zonas de ambiente estable, caracterizándose por presentar biozonas de ostreas y rocas de textura Wackestone y Packstone.

Este ambiente comprende facies de 2a, 2b y 2c, presentando grandes paquetes de biozonas de bivalvos (ostreas) y diversos componentes esqueléticos (Los números indican la abundancia relativa de componentes no esqueléticos y esqueléticos: 0 = ausente, 1 = presente, 2 = frecuente, 3 = abundante, 4 = dominante). Estas ostreas están asociados con gasterópodos indicando que son de mar abierto.

Rampa exterior	Rampa media		Rampa interna		
zona debajo de la base de la tormenta	zona interna de ambiente estable		zona submareal de poca profundidad		
mud/wackestone	rud/float/grainstone		marl/mud/wacke/packestone		
condiciones redox					
Nivel del mar					
3 (3a)	2 (2c)	2 (2a-2b)	1 (1c)	1 (1a-1b)	
Capas finas, bituminosas de color gris oscura	Capas finas, margosas y bioturbadas	Ostras bien conservadas, comunmente bioturbadas.	Elementos esqueléticos y fragmentados.	Bancos bioturbados, bioclastos, fauna diversa y superficies erosivas.	Escasa fauna, débil bioturbación, superficies erosivas.

Figura N° 19: Gráfico de un ambiente de depositación de la Formación Yumagual.

Fuente: Modificado de Navarro,2014.

Código de facies	Código de colores	Facies	Textura	Componentes esqueléticos	Ambiente de depositación	Asociación de facies y ambiente deposicional	
1a		Fauna restringida	m	No hay componentes esqueléticos	Submareal de poca profundidad	1	Zona submareal de poca profundidad
1b		Arcillosa con fauna restringida	m, M-W	Bivalvos 1, restos de conchas 1	Submareal de poca profundidad		
1c		Arcillosa con fauna diversa	W, P-G, F	Bivalvos 2-3, gasterópodos 1-2, restos de conchas 1-2	Submareal de poca profundidad		
2a		Fauna diversa - alta energía	P-G, F	Bivalvos 1-2, gasterópodos 1-2, cefalópodos 1-2, restos de conchas 2-3	Rampa marina abierta	2	Rampa media de mar abierto
2b		Ostras floatstone	F-G, R	Bivalvos 2-4, cefalópodos 1-2, restos de conchas 2-3	Rampa marina abierta		
2c		Fauna diversa - baja energía	M-W, P	Restos de conchas 1	Rampa marina abierta		
3a		Facies fangosas, gris oscuras	M	Componentes esqueléticos escasos	Rampa exterior	3	Rampa exterior

Figura N° 20: Cuadro resumen de la interpretación de las facies de la Formación Yumagual.

Fuente: Modificado de Navarro, 2014.

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En los centros poblados de Chamis Alto, Carhuaquero y Majadapampa la Formación Yumagual pertenece a la edad del Albiano superior y cenomaniano inferior, presentando un ambiente nerítico de plataforma carbonatada con entornos de rampa media de mar abierto a rampa interna de aguas de poca profundidad, desde los miembros inferior y medio se puede observar facies sedimentarias con litología de calizas, margas y arcillitas con texturas Mudstone, Wackestone, indicando estas que existieron baja corrientes de agua marina y poco nivel de energía por lo que se presenta alto contenido de fósiles. Y en el miembro superior presentando calizas de textura Wackestone, Packestone y arcillitas indicando un ambiente de sedimentación de alta corriente de agua y alto nivel de energía presentando bajo contenido de fósiles. Seguidamente esta Formación también presenta estructuras sedimentarias como la estratificación paralela y lenticular, estructuras de carga y las bioturbaciones encontradas en el miembro inferior y medio de dicha Formación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La lito-bioestratigrafía de la Formación Yumagual en los centros poblados de Chamis Alto - Carhuaquero y Majadapampa presentan facies de calizas con texturas Mudstone, Wackestone y Packstone intercaladas con arcillitas en los miembros inferior, medio y superior.

En la columna litoestratigráfica de la Formación Yumagual de los centros poblados de Chamis Alto - Carhuaquero y Majadapampa se detalla los espesores de las unidades litoestratigráficas, determinando el miembro inferior 250 m, Medio 240 m y Miembro Superior 210 m, y a su vez describiendo su litología y textura de las rocas.

En el análisis macroscópico se identificó diferentes litofacies de calizas con texturas Mudstone, Wackestone y Packstone, intercaladas con margas de texturas Mudstone y Wackestone así como también de arcillitas, presentando también biozonas de bivalvos y Gasterópodos.

Las estructuras sedimentarias de la Formación Yumagual que se evidenciaron son la estratificación paralela y lenticular, estructuras de carga, y las bioturbaciones localizadas en el miembro inferior y medio de dicha Formación.

5.2. RECOMENDACIONES

A los estudiantes interesados de la rama de Ingeniería Geológica realicen estudios complementarios de bioestratigrafía con el propósito de encontrar más fósiles guía debido que en la actualidad se está realizando una ampliación de carretera por lo que habrá mayor posibilidad encontrar y ver restos litoestratigráficos lo que permitirá reconocer mejor y dar una mayor interpretación con mayor exactitud de su edad de estos fósiles, asimismo poder correlacionar a escala regional.

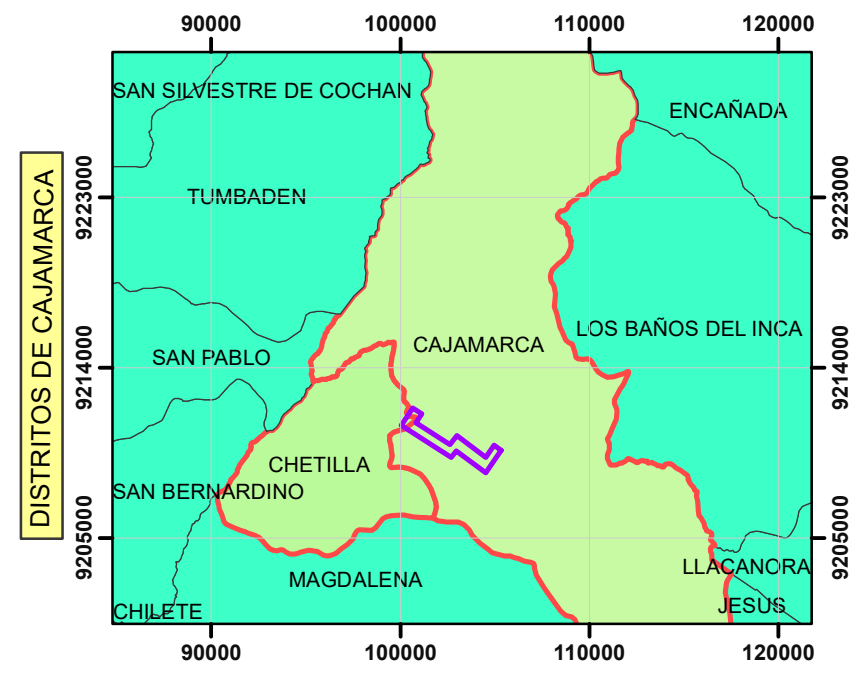
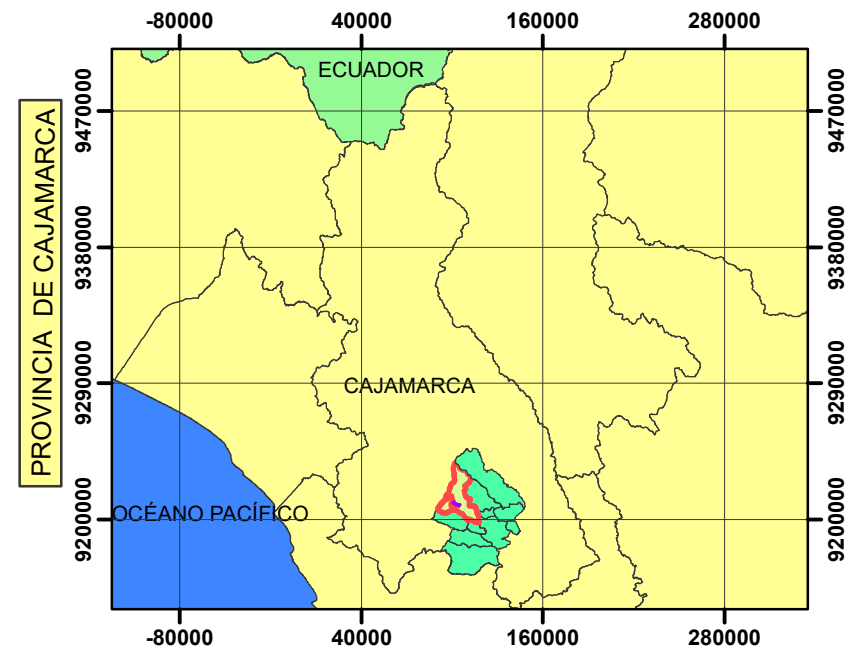
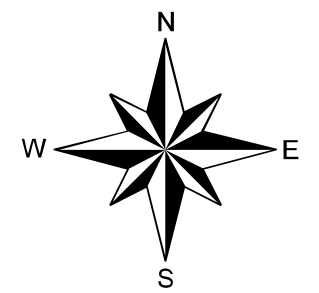
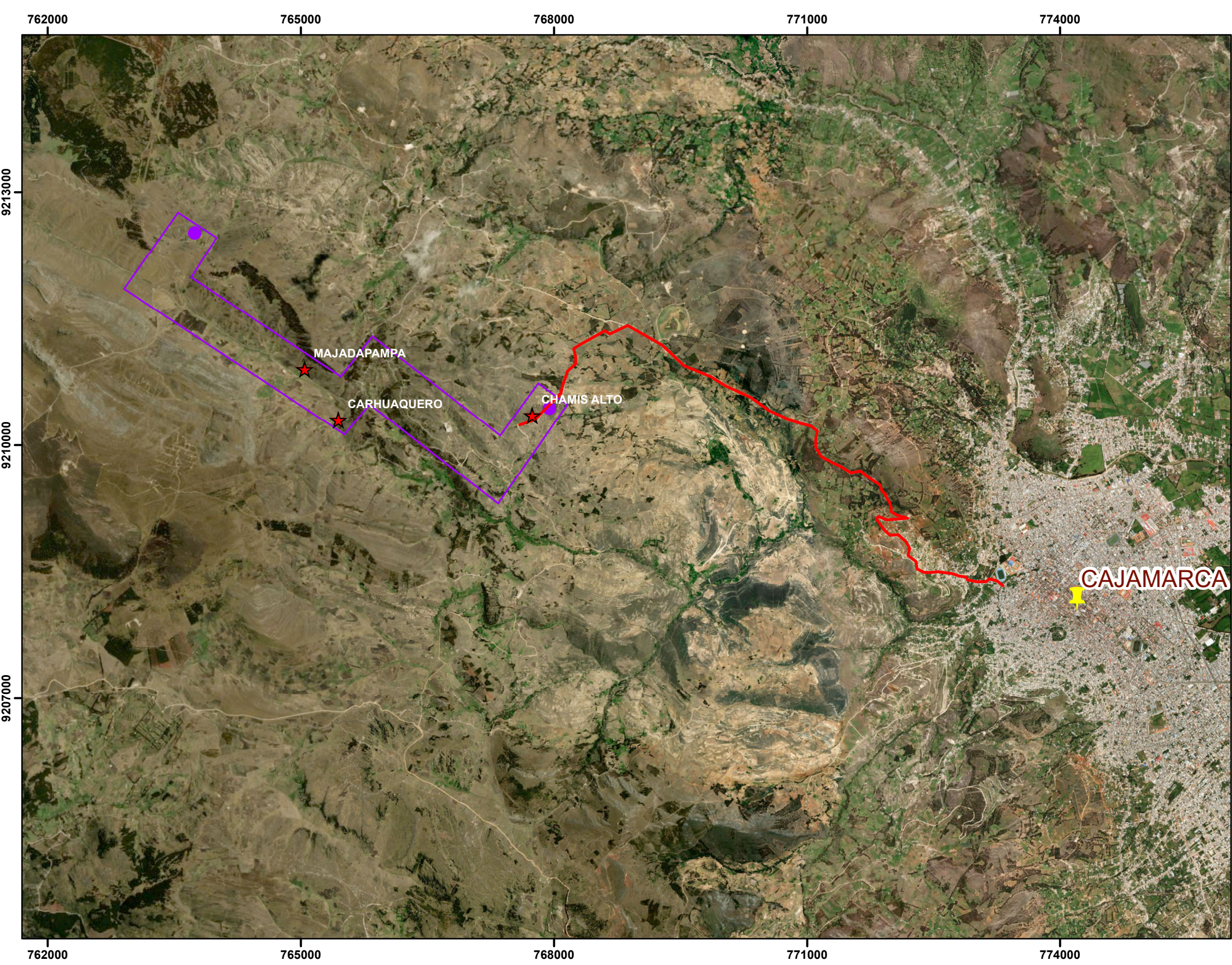
Se recomienda a los estudiantes interesados de tesis en Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca realizar estudios microscópicos de las rocas para el análisis de cuencas sedimentarias con el objetivo de reconstruir de manera más detallada el paleoambiente de sedimentación en la Formación Yumagual de los centros poblados de Chamis Alto - Carhuaquero y Majadapampa.

Se sugiere a los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca realizar análisis micropaleontológicos en secciones delgadas, con el fin de lograr una clasificación con mayor detalle de las biofacies presentes. Esta metodología permitirá una mejor interpretación del contenido fósil y de los ambientes de depositación asociados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barba, F. 1999.** Rocas Sedimentarias y Facies Sedimentarias: relaciones conceptuales y genéticas. Aplicaciones didácticas. Sedimentary Rocks and Sedimentary Facies: Conceptual and genetic relationships. Teaching applications. C.I.T.I.M.A.C. Facultad de Ciencias-Univ. de Cantabria.
- Berthault, G. 2002.** Analysis of the main principles of stratigraphy on the basis of experimental data. Litología y Recursos Minerales en 2002, volumen 37, 442- 446 p.
- Bogs, S. 2006.** Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Editorial Prentice Hall. New Jersey, USA.
- Dresow, M. (2023).** Actualism and Uniformitarianism: From Abstract Commitments to Forms of Practice. Philosophy of Science, Vol. 90, No 4. 994-1000 p.
- Folk, R. L. 1962.** Subdivisión espectral de tipos de calizas. Tulsa.
- Jaillard, E. 1990.** Evolución de la Margen Andina en el Norte del Perú desde el Aptiano Superior hasta el Senomaniano. Sociedad Geológica del Perú.
- Jaillard, E. 1992.** La Fase Peruana (Cretácico superior) en la Margen Peruana. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. 81-87 p.
- Julca, V. 2022.** Caracterización Lito-bioestratigráfica de la Formación Pariatambo en el caserío de Carahuanga del distrito de Baños del Inca. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Lagos, A y Quispe, Z. 2007.** Aportes al análisis de Cuencas Sedimentarias en los Alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca. 7-12.
- Medina, S. 2014.** Estratigrafía Secuencial de la Formación Yumagual en el distrito minero de Hualgayoc- Cajamarca.
- Mendoza, Y. 2021.** Correlación Litoestratigráfica de la Formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Terrones, L. 2014.** Cajamarca, Estudio Litológico y Paleontológico de la Formación Yumagual en el Distrito de Cajamarca. Recuperado el 25 de abril de 2016.
- Vera, J. 1994.** Estratigrafía – Principios y Métodos. Editorial Rueda. Madrid, España.

ANEXOS



LEYENDA

★

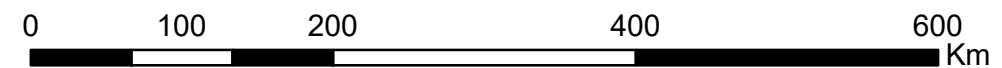
Centro poblado

—

Via de acceso

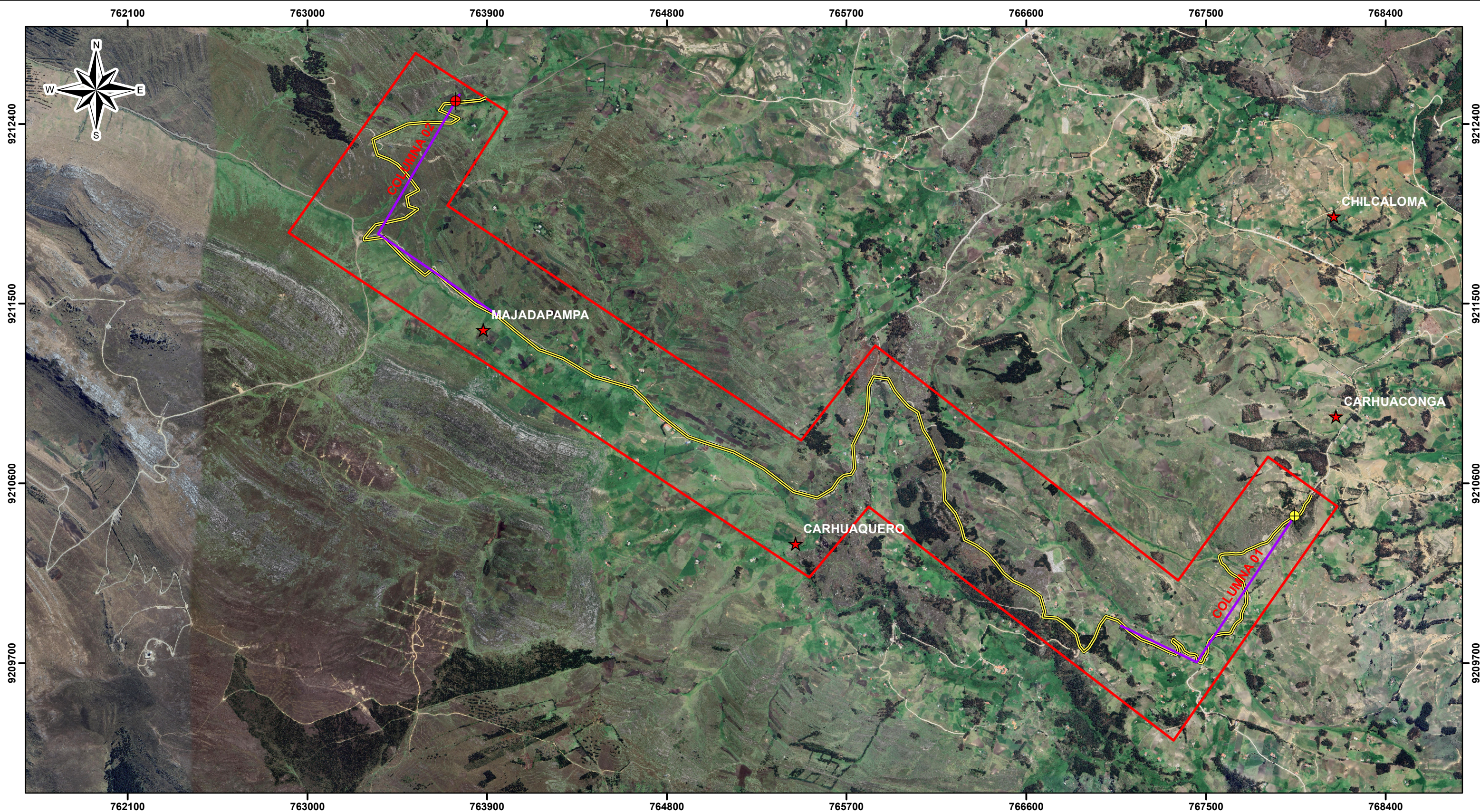
□

Área de estudio



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica			
LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE CHAMIS ALTO - CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA- CAJAMARCA 2026					
PLANO	UBICACIÓN				PLANO N° 01
ASESOR	Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón				
TESISTA	Bach. Caja González, Wilson Alex				
DATUM	WGS-84	ESCALA	1:5,000,000		



Leyenda

Columna

Centro poblado

Área de estudio

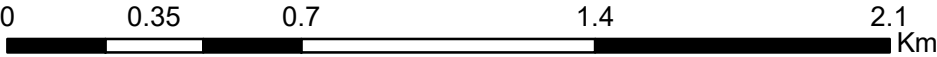
Trocha Zona de estudio

Ríos

Progresivas

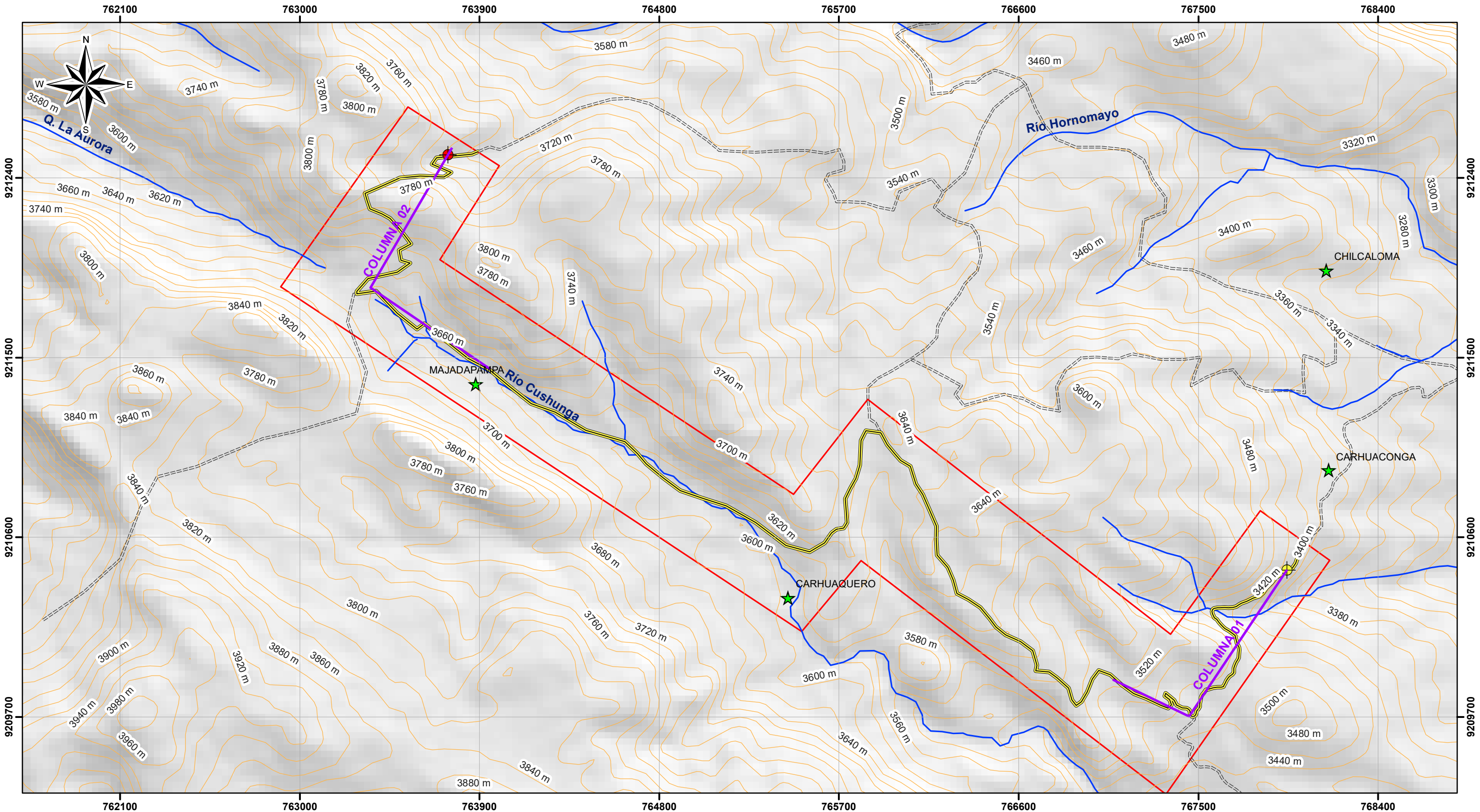
Punto inicial

Punto final



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica			
LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE CHAMIS ALTO - CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA- CAJAMARCA 2026					
PLANO	IMAGEN SATELITAL				PLANO N° 02
ASESOR	Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón				
TESISTA	Bach. Caja González, Wilson Alex				
DATUM	WGS-84	ESCALA	1:18,000		



Leyenda

Columna

Área de estudio

Ríos

Centro poblado

Trocha Zona de estudio

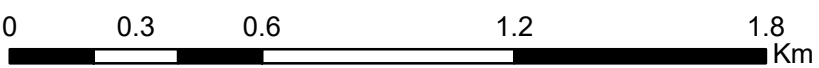
Trocha carrozable

Curvas de nivel

Progresivas

Punto inicial

Punto final

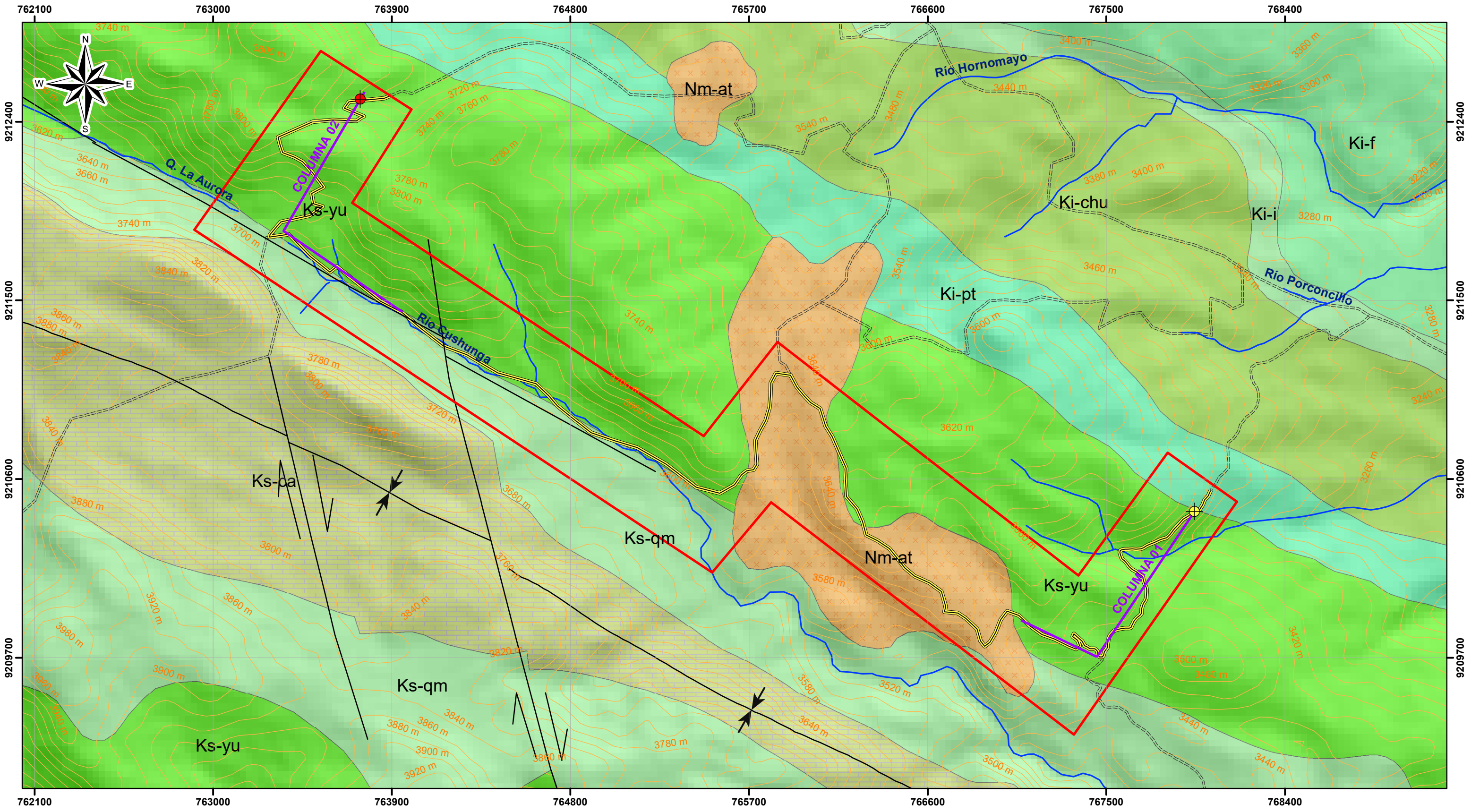


Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE CHAMIS ALTO - CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA- CAJAMARCA 2026

PLANO	TOPOGRÁFICO			PLANO N° 03
ASESOR	Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón			
TESISTA	Bach. Caja González, Wilson Alex			
DATUM	WGS-84	ESCALA	1:18,000	



Leyenda

Columna

Área de estudio

Ríos

Sinclinal

Punto inicial

Fallas

Curvas de nivel

Trocha carrozable

Trocha Zona de estudio

Punto final

Progresivas

GEOLOGÍA

Ki-fa

Ks-qm

Ki-i

Ks-ca

Ki-chu

Nm-at

Ki-pt

Nm-da

Ks-yu

0

0.3

0.6

1.2

1.8

Km

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S

Projection: Transverse Mercator

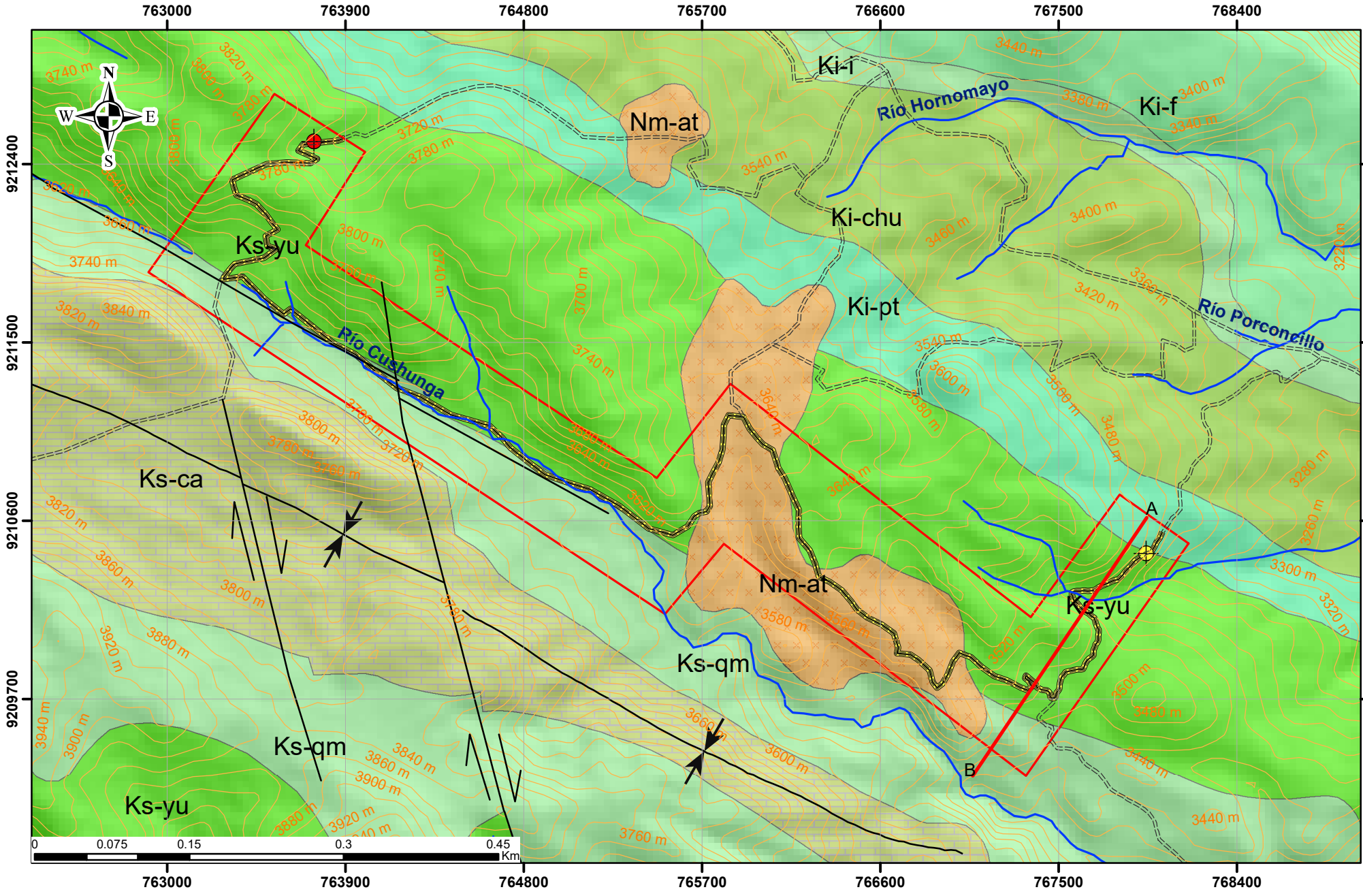
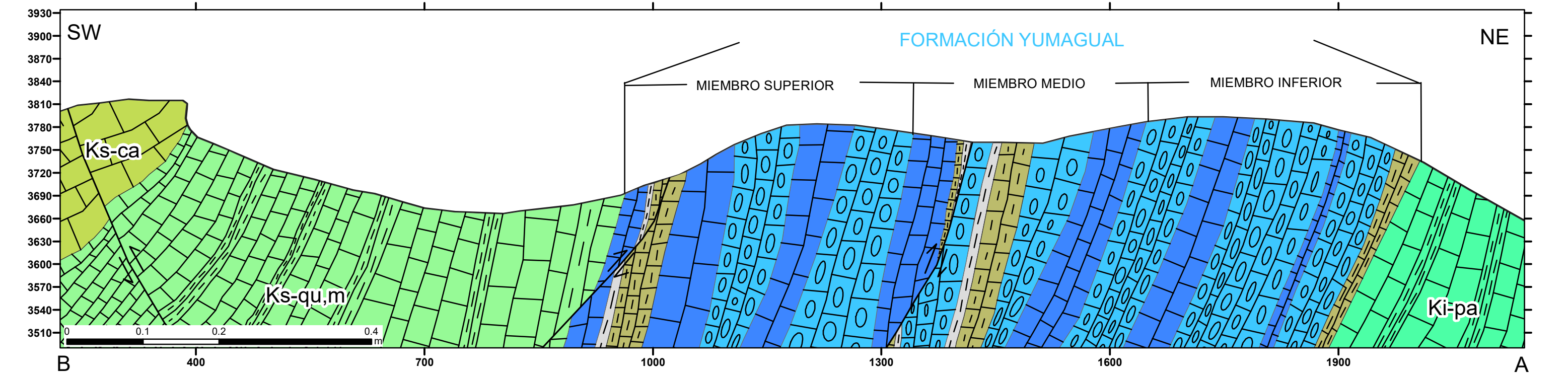
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE CHAMIS ALTO - CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA- CAJAMARCA 2026

PLANO	GEOLÓGICO		PLANO N° 04
ASESOR	Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón		
TESISTA	Bach. Caja González, Wilson Alex		
DATUM	WGS-84	ESCALA 1:18,000	

SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA



Leyenda

- ks-ca
- ks-qm
- ks-yu
- ki-pa

Simbología Fm. Yumagual

Ks-yu

LITOLOGIA

- Calizas
- Margas
- Arcillolitas
- Calizas nodulares

Leyenda

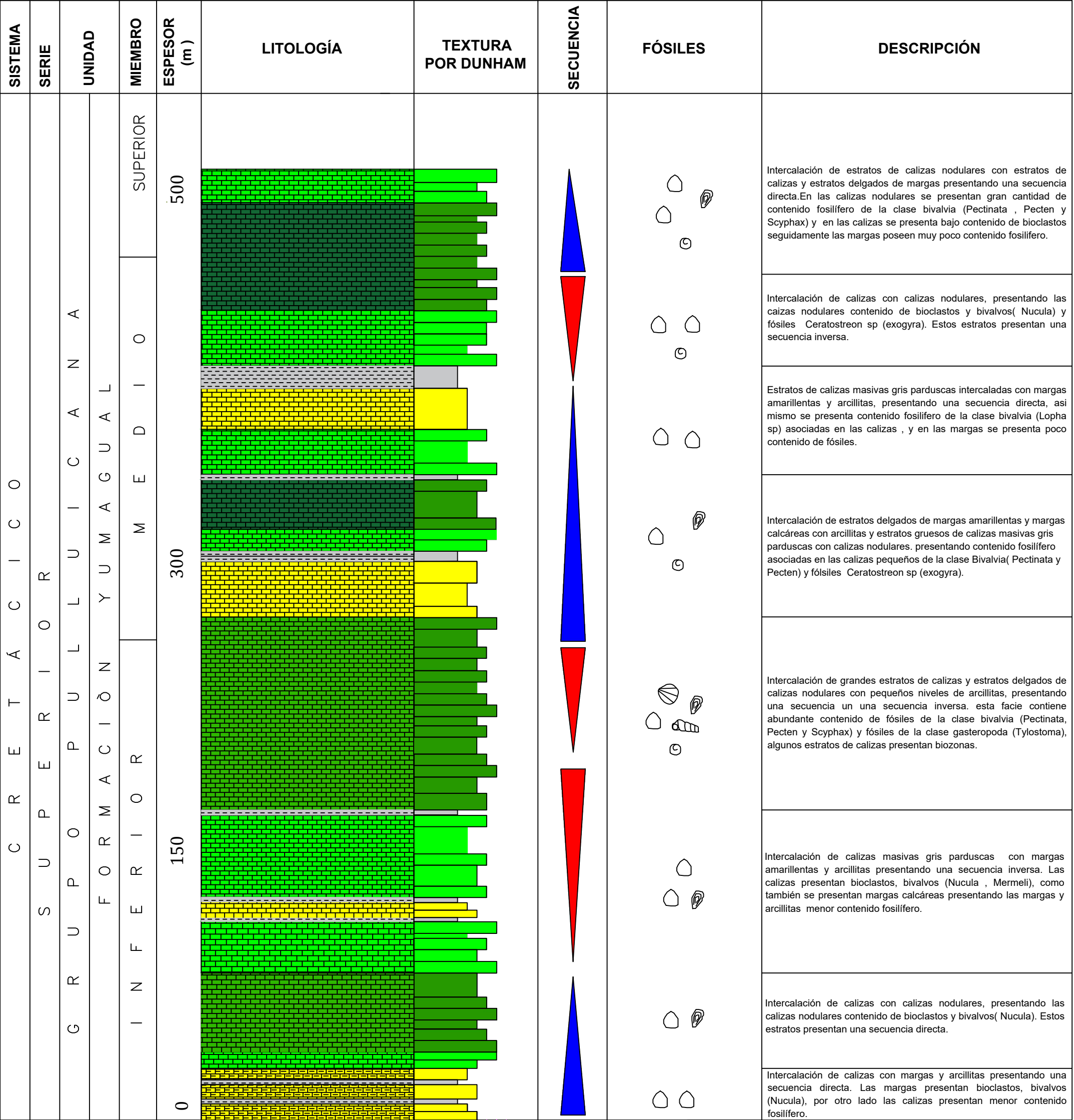
- Línea de perfil
- Área de estudio
- Ríos
- Sinclinal
- Fallas
- Curvas de nivel
- Trocha carrozable
- Trocha Zona de estudio

Progresivas

- Punto inicial
- Punto final

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica 				
LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE CHAMIS ALTO - CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA- CAJAMARCA 2026				
PLANO	PERFIL GEOLÓGICO			PLANO N° 05
ASESOR	Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón			
TESISTA	Bach. Caja González, Wilson Alex			
DATUM	WGS-84	ESCALA	1:5,000	

COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA EN LOS CENTROS POBLADOS DE CHAMIS ALTO Y CARHUAQUERO



d m M W P G

ESCALA VERTICAL

100 m

0 m

SIMBOLOGÍA	LITOLÓGICA
Caliza	
Caliza Nodular	
Marga	
Arcillolita	

SECUENCIAS

Secuencia Negativa

Inversa

Directa

Secuencia Positiva



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE
CHAMIS ALTO-CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA -CAJAMARCA 2025

Columna Estratigráfica de la Formación Yumagual

Tesista: Bach. CAJA GONZÁLEZ WILSON ALEX

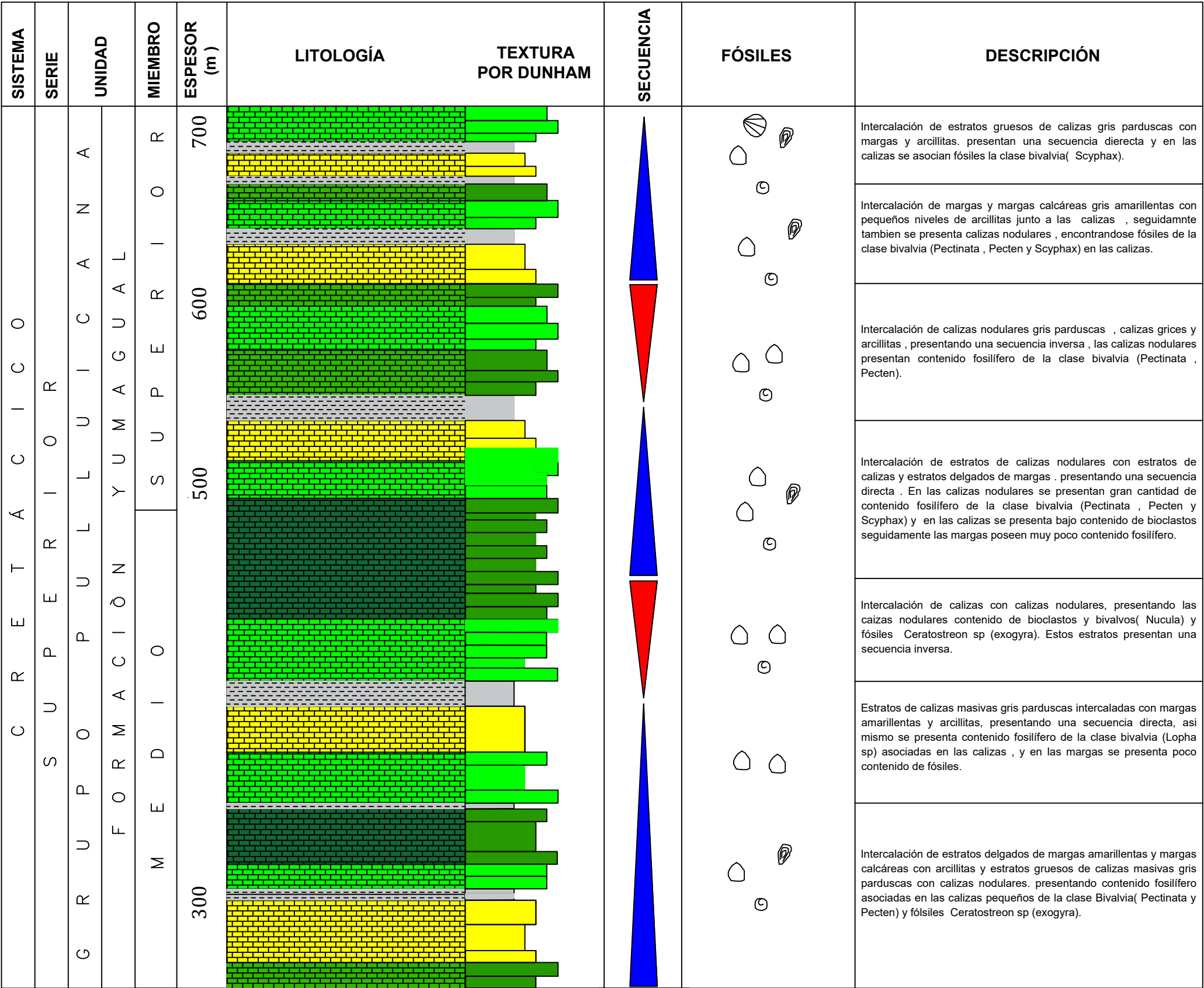
Asesor: Dr. ZENÓN QUISPE MAMANI

Fecha: Diciembre 2025

N°:

Columna
N° 01

COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA EN EL CENTRO POBLADO DE MAJADAPAMPA



d m M W P G

ESCALA VERTICAL

100 m

0 m

SIMBOLOGÍA	LITOLÓGICA
Caliza	
Caliza Nodular	
Marga	
Arcillolita	

SECUENCIAS

Secuencia Negativa

Inversa

Directa

Secuencia Positiva

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE CHAMIS ALTO-CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA -CAJAMARCA 2025

Columna Estratigráfica de la Formación Yumagual

Tesista: Bach. CAJA GONZÁLEZ WILSON ALEX

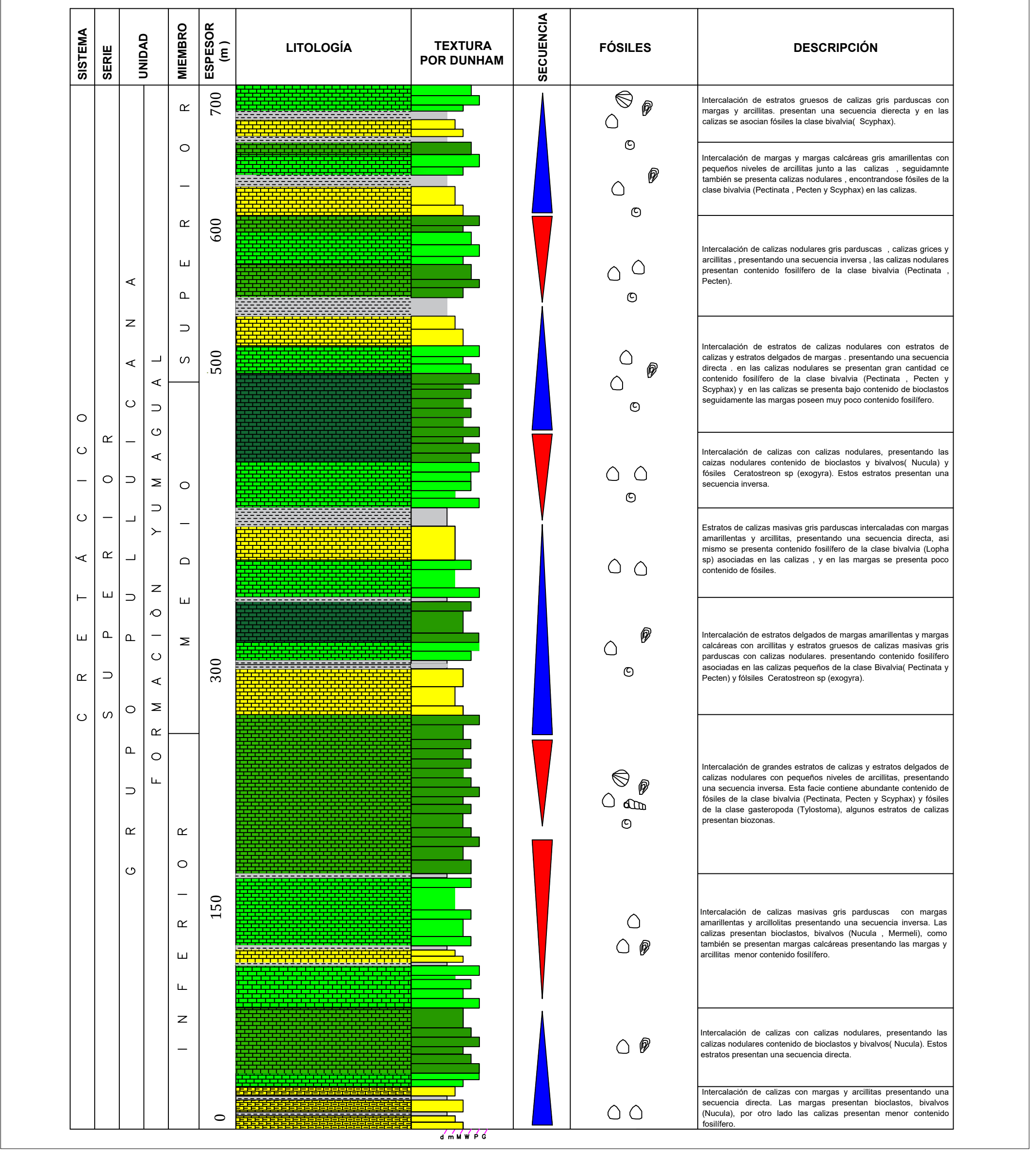
Asesor: Dr. ZENÓN QUISPE MAMANI

Fecha: Diciembre 2025

N°:

Columna N° 02

COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA EN LOS CENTROS POBLADOS DE CHAMIS ALTO, CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA



ESCALA VERTICAL

100 m

0 m

SIMBOLOGÍA	LITOLÓGICA
Caliza	
Caliza Nodular	
Marga	
Arcillolita	

SECUENCIAS

Secuencia Negativa

Inversa

Directa

Secuencia Positiva

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

LITO-BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LOS SECTORES DE CHAMIS ALTO-CARHUAQUERO Y MAJADAPAMPA -CAJAMARCA 2025

Columna Estratigráfica de la Formación Yumagual

Tesista: Bach. CAJA GONZÁLEZ WILSON ALEX

Asesor: Dr. ZENÓN QUISPE MAMANI

Fecha: Diciembre 2025

Nº:

Columna N° 03