

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



TESIS

**CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN
LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Geólogo

PRESENTADO POR:
Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez

ASESOR:
M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani

Cajamarca - Perú

- 2021 -

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación, ha sido posible realizarlo con el apoyo de mis padres, la Universidad Nacional de Cajamarca (alma mater), la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica y el de mis docentes y compañeros.

Un agradecimiento especial a mi asesor, el M. Cs. Zenón Crispín Quispe Mamani, por la disposición de su tiempo y por brindarme sus conocimientos y asesoría para desarrollar la presente tesis profesional.

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis profesional a mis padres por su comprensión e incondicional apoyo en mi vida universitaria y en todo el transcurso de mi vida.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.1.1. INTERNACIONAL	3
2.1.2. NACIONAL.....	3
2.1.3. LOCAL	4
2.2. BASES TEÓRICAS	4
2.2.1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA ESTRATIGRAFÍA	5
2.2.2. OBJETIVOS DE LA ESTRATIGRAFÍA.....	6
2.2.3. TIPOS DE ESTRATIFICACIÓN.....	7
2.2.4. MEDIDA DE LA ESTRATIFICACIÓN	11
2.2.5. CALIFICATIVOS PARA DESCRIBIR LAS DIFERENCIAS ENTRE ESTRATIFICACIÓN Y LAMINACIÓN.....	12
2.2.6. FACIES	13
2.2.7. TIPOS DE FACIES.....	14
2.2.8. CLASIFICACIÓN DE LAS FACIES.....	14
2.2.9. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	16
2.2.10. CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA	16
2.2.11. TIPOS DE CORRELACIÓN.....	17
2.2.12. SISTEMA GRÁFICO DE CORRELACIÓN DE SHAW	18
2.2.13. CLASIFICACIÓN DE ROCAS CARBONATADAS	20
2.2.14. CLASIFICACIÓN DE ROCAS DETRÍTICAS	25
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	27
CAPÍTULO III	29
MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	29

	Pág.
3.1.1.	GEOGRÁFICA29
3.1.2.	POLÍTICA.....29
3.1.3.	ACCESIBILIDAD30
3.2.	PROCEDIMIENTOS.....30
3.2.1.	ETAPA PRELIMINAR DE GABINETE30
3.2.2.	ETAPA DE CAMPO.....31
3.2.3.	ETAPA DE GABINETE.....31
3.2.4.	METODOLOGÍA.....31
3.2.5.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES33
3.2.6.	TÉCNICAS33
3.2.7.	INSTRUMENTOS Y EQUIPOS33
3.3.	MARCO ESTRATIGRÁFICO34
3.3.1.	GRUPO PULLUICANA34
3.4.	ESTRATIGRAFÍA LOCAL36
3.4.1.	FORMACIÓN YUMAGUAL.....36
3.4.2.	LITOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL CENTRO POBLADO DE OTUZCO37
3.4.3.	LITOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL DISTRITO DE MATARA46
3.4.4.	LITOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LA PROVINCIA DE SAN MARCOS51
3.5.	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS.....58
3.5.1.	ESTRUCTURAS DE CARGA58
3.5.2.	ESTRATIFICACIÓN LENTICULAR59
3.5.3.	BIOTURBACIÓN60
3.6.	CLASIFICACIÓN PETROLÓGICA.....60
3.6.1.	CLASIFICACIÓN PETROLÓGICA DE OTUZCO.....60
3.6.2.	CLASIFICACIÓN PETROLÓGICA DE MATARA.....65
3.6.3.	CLASIFICACIÓN PETROLÓGICA DE SAN MARCOS68
3.7.	CLASIFICACIÓN PALEONTOLÓGICA72
3.7.1.	CLASIFICACIÓN PALEONTOLÓGICA DE OTUZCO.....72
3.7.2.	CLASIFICACIÓN PALEONTOLÓGICA DE MATARA.....75
3.7.3.	CLASIFICACIÓN PALEONTOLÓGICA DE SAN MARCOS.....79

	Pág.
3.8. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	83
CAPÍTULO IV.....	85
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
4.1.1. ASOCIACIÓN DE FACIES Y AMBIENTE DEPOSITACIONAL.....	86
4.1.2. CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA.....	91
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	93
CAPÍTULO V.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
5.1. CONCLUSIONES.....	94
5.2. RECOMENDACIONES	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Calificativos para clasificar estratificación y laminación según su espesor (Potter et al., 1980).	12
Tabla 2. Facies según su tipo de características o contenido (Vera, 1994).	15
Tabla 3. Coordenadas UTM (sistema WGS-84) de vértices de las áreas de estudio.	29
Tabla 4. Accesibilidad a las áreas de estudio.	30
Tabla 5. Clasificación de los tipos de investigación utilizados en el proyecto de investigación.	32
Tabla 6. Identificación de las variables de la investigación.	33
Tabla 7. Instrumentos y equipos utilizados en campo y gabinete.	34
Tabla 8. Abreviatura para la descripción de algunos términos en el presente estudio.	37
Tabla 9. Clasificación petrológica de caliza R del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.	61
Tabla 10. Clasificación petrológica de caliza F del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.	61
Tabla 11. Clasificación petrológica de caliza W del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.	62
Tabla 12. Clasificación petrológica de caliza M del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.	62
Tabla 13. Clasificación petrológica de marga R del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.	63
Tabla 14. Clasificación petrológica de marga F del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.	63
Tabla 15. Clasificación petrológica de marga M del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.	64
Tabla 16. Clasificación petrológica de arcillita del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.	64
Tabla 17. Clasificación petrológica de caliza R del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.	65
Tabla 18. Clasificación petrológica de caliza F del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.	65

	Pág.
Tabla 19. Clasificación petrológica de caliza W del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.....	66
Tabla 20. Clasificación petrológica de caliza M del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.....	66
Tabla 21. Clasificación petrológica de marga F del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.....	67
Tabla 22. Clasificación petrológica de marga M del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.....	67
Tabla 23. Clasificación petrológica de arcillita del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.....	68
Tabla 24. Clasificación petrológica de caliza R del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.....	68
Tabla 25. Clasificación petrológica de caliza F del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.....	69
Tabla 26. Clasificación petrológica de caliza W del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.....	69
Tabla 27. Clasificación petrológica de caliza M del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.....	70
Tabla 28. Clasificación petrológica de marga R del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.....	70
Tabla 29. Clasificación petrológica de marga F del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.....	71
Tabla 30. Clasificación petrológica de marga M del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.....	71
Tabla 31. Clasificación petrológica de arcillita del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.....	72
Tabla 32. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata de la zona de Otuzco.	73
Tabla 33. Clasificación paleontológica del fósil Pecten de la zona de Otuzco.	73
Tabla 34. Clasificación paleontológica del fósil Exogyra Mermeli de la zona de Otuzco.	74
Tabla 35. Clasificación paleontológica del fósil Ostrea Scyphax de la zona de Otuzco.	74

	Pág.
Tabla 36. Clasificación paleontológica del fósil Tylostoma de la zona de Otuzco.	75
Tabla 37. Clasificación paleontológica del fósil Thalassinoide de la zona de Otuzco.	75
Tabla 38. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata de la zona de Matara.....	76
Tabla 39. Clasificación paleontológica del fósil Ostrea Scyphax de la zona de Matara.....	76
Tabla 40. Clasificación paleontológica del fósil Exogyra Mermeli de la zona de Matara.....	77
Tabla 41. Clasificación paleontológica del fósil Tylostoma de la zona de Matara.	77
Tabla 42. Clasificación paleontológica del fósil Oxytropidoceras Carbonarium de la zona de Matara.	78
Tabla 43. Clasificación paleontológica del fósil Tissotia sp. de la zona de Matara.	78
Tabla 44. Clasificación paleontológica del fósil Ceratites Nodosus de la zona de Matara.....	79
Tabla 45. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata de la zona de San Marcos.....	79
Tabla 46. Clasificación paleontológica del fósil Pecten de la zona de San Marcos.	80
Tabla 47. Clasificación paleontológica del fósil Ostrea Scyphax de la zona de San Marcos.....	80
Tabla 48. Clasificación paleontológica del fósil Exogyra Mermeli de la zona de San Marcos.....	81
Tabla 49. Clasificación paleontológica del fósil Tylostoma de la zona de San Marcos.	81
Tabla 50. Clasificación paleontológica del fósil Ceratites de la zona de San Marcos.	82
Tabla 51. Clasificación paleontológica del fósil Thalassinoide de la zona de San Marcos.	82

	Pág.
Tabla 52. Resultados de la litología, textura y facies del miembro inferior, medio y superior de las zonas de Otuzco, Matara y San Marcos.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de estratigrafía (Vera, 1994).....	9
Figura 2. Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes (Vera, 1994).	11
Figura 3. Medición de la estratigrafía (Krumbein, 1969).	12
Figura 4. Modelo de Correlación Estratigráfica (Milley y Stones, 2006).....	17
Figura 5. Correlación linear tipo A, de dos perfiles con el mismo espesor, con la letra d se marcan los niveles diacrónicos (aquellos que se separan de la línea de correlación) (Shaw, 1964).	19
Figura 6. Correlación tipo B, entre dos perfiles en la que el perfil X tiene un mayor espesor (mayor tasa de sedimentación) (Shaw, 1964).....	19
Figura 7. Correlación tipo C, entre dos perfiles en la que el perfil Y tiene un mayor espesor (Shaw, 1964).	20
Figura 8. Correlación tipo D, modo gráfico de detectar un hiato en el perfil X (Shaw, 1964).....	20
Figura 9. Correlación tipo E, modo gráfico de detectar un hiato en el perfil Y (Shaw, 1964).....	20
Figura 10. Clasificación de rocas carbonatadas (Dunham, 1962).	21
Figura 11. Clasificación de rocas carbonatadas (Folk, 1962).	22
Figura 12. Clasificación de rocas carbonatadas (Embry y Klovan ,1971).	24
Figura 13. Clasificación de rocas detríticas basada en la escala granulométrica de Udden-Wenworth (Teruggi, 1982).	25
Figura 14. Sección transversal desde la plataforma continental hasta la planicie abisal, en el marco rojo se muestra la plataforma carbonatada somera distal, en donde se depositó la Fm. Yumagual (Modificado de Nichols, 2009).	86
Figura 15. Divisiones de la plataforma carbonatada relacionadas a la profundidad del mar, en el marco rojo se muestra la zona nerítica en donde se depositó la Fm. Yumagual (Modificado de Nichols, 2009).....	87
Figura 16. Esquema en el que se indica dentro del marco rojo el ambiente de depositación de la Fm. Yumagual (Modificado de Navarro, 2014).	89

Figura 17. Descripción general de la clasificación e interpretación de facies de la Fm. Yumagual dentro del marco rojo. Los números indican la abundancia relativa de componentes no esqueléticos y esqueléticos: 0 = ausente, 1 = presente, 2 = frecuente, 3 = abundante, 4 = dominante (Modificado de Navarro, 2014)..... 90

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	38
Foto 2. Intercalación de margas con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	38
Foto 3. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	39
Foto 4. Intercalación de calizas con margas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	40
Foto 5. Intercalación de calizas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	41
Foto 6. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	42
Foto 7. Intercalación de calizas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	42
Foto 8. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro superior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	43
Foto 9. Intercalación de margas con arcillitas del miembro superior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	44
Foto 10. Calizas masivas de gran espesor del miembro superior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	45
Foto 11. Intercalación de calizas con margas del miembro superior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.	46
Foto 12. Intercalación de calizas con margas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.....	47
Foto 13. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.....	47
Foto 14. Intercalación de calizas nodulares con margas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.....	48
Foto 15. Afloramiento de chert en la parte media del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.....	49
Foto 16. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.....	50

	Pág.
Foto 17. Intercalación de margas con arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.....	51
Foto 18. Contacto entre la Formación Pariatambo y la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	52
Foto 19. Afloramiento de calizas nodulares del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	53
Foto 20. Intercalación de calizas nodulares con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	53
Foto 21. Intercalación de calizas con margas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	54
Foto 22. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	55
Foto 23. Intercalación de calizas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	56
Foto 24. Intercalación de arcillitas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	56
Foto 25. Intercalación de calizas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	57
Foto 26. Intercalación de margas con arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	58
Foto 27. Estructura de carga en la intercalación de calizas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	59
Foto 28. Estratificación lenticular en la intercalación de calizas nodulares con margas del miembro superior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.....	59
Foto 29. Bioturbación encontrada en margas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.....	60

RESUMEN

La presente tesis se realizó en la Formación Yumagual perteneciente al Albiano Superior – Cenomaniano Inferior, en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco. La Formación Yumagual aun no presenta estudios sobre el medio de depositación que nos ayuden a identificar las diversas secuencias litológicas que tuvieron lugar en Matara, San Marcos y Otuzco. Es por ello que para comprender el medio de depositación de estas facies sedimentarias es necesaria la aplicación de la litoestratigrafía, la cual ayudará a reconocer e interpretar cada una de las facies que fueron depositadas durante un periodo de cambios relativos del nivel del mar, lo que implica cambios en el aporte de sedimentos. Este estudio se realizó con el propósito de realizar la Correlación Litoestratigráfica de la Formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco utilizando el Sistema Gráfico de Correlación de Shaw, determinando las condiciones de depositación, los espesores de los estratos, las facies sedimentarias y la elaboración de columnas estratigráficas.

El procedimiento para la realización de la presente tesis constó en la toma de datos en campo en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco, en cada uno de los miembros de la Formación Yumagual, para la realización de columnas estratigráficas en las que se describen la litología, texturas, secuencias sedimentarias, estructuras sedimentarias y presencia fosilífera de la clase bivalvia, gasterópoda y cefalópoda. Toda esta información se analizó para poder determinar que el ambiente de depositación de esta formación es un ambiente marino nerítico de plataforma somera distal, con entornos de rampa media de mar abierto y de rampa interna con aguas poco profundas.

Palabras claves: Facies sedimentaria, litología, bioestratigrafía, tiempo cronoestratigráfico, correlación estratigráfica.

ABSTRACT

This thesis was carried out in the Yumagua Formation belonging to the Upper Albiano - Lower Cenomaniano, in the areas of Matara, San Marcos and Otuzco. The Yumagual Formation does not yet present studies on the means of deposition that help us identify the various lithological sequences that took place in Matara, San Marcos and Otuzco. That is why to understand the means of deposition of these sedimentary facies, the application of lithostratigraphy is necessary, which will help to recognize and interpret each of the facies that were deposited during a period of relative changes in sea level, which It implies changes in the sediment contribution.

This study was carried out with the purpose of performing the Lithostratigraphic Correlation of the Yumagual Formation in the areas of Matara, San Marcos and Otuzco using the Shaw Graphic Correlation System, determining the deposition conditions, the thicknesses of the strata, the sedimentary facies and the elaboration of stratigraphic columns.

The procedure for the realization of this thesis consisted in the field data collection in the areas of Matara, San Marcos and Otuzco, in each of the members of the Yumagual Formation, for the realization of stratigraphic columns in which they are described lithology, textures, sedimentary sequences, sedimentary structures and fossiliferous presence of the bivalve, gastropod and cephalopod class. All this information was analyzed in order to determine that the deposition environment of this formation is a shallow marine environment of a shallow distal platform, with environments of middle ramp of open sea and internal ramp with shallow water.

Keywords: Sedimentary facies, lithology, biostratigraphy, chronostratigraphic time, stratigraphic correlation.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El paleoambiente sedimentario sufrió constantes cambios, depositándose producto de ello las diferentes facies que presenta la Formación Yumagual. Dicha formación aun no presenta estudios sobre el medio de depositación que nos ayuden a identificar las diversas secuencias litológicas que tuvieron lugar en Matara, San Marcos y Otuzco.

Para comprender el medio de depositación de estas facies sedimentarias es necesaria la aplicación de la litoestratigrafía, la cual nos ayudará a reconocer e interpretar cada una de las facies que fueron depositadas durante un periodo de cambios relativos del nivel del mar, lo que implica cambios en el aporte de sedimentos.

A través de la aplicación de conocimientos de estratigrafía, petrografía y paleontología se estudiarán los afloramientos de la Formación Yumagual, para posteriormente elaborar columnas estratigráficas que nos permitirán analizar, interpretar y correlacionar las secuencias estratigráficas de dicha formación.

Por ende, se formuló la siguiente pregunta: ¿Cuál es la Correlación Litoestratigráfica de la Formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco?

Para lo cual se tiene la siguiente hipótesis: La correlación litoestratigráfica de la Formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco, está determinada por las características litológicas y biológicas, el ambiente de sedimentación de la plataforma carbonatada, estructuras, tiempo cronoestratigráfico y facies sedimentarias, así también por procesos que afectan los medios sedimentarios como el eustatismo y la erosión, a través del tiempo geológico.

La justificación de este estudio es dar un aporte geológico sobre la litoestratigrafía de la Formación Yumagual, perteneciente al Cretácico Superior, en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco, mediante la correlación de columnas estratigráficas.

Este trabajo de investigación servirá de base para futuras investigaciones, en las que se necesiten comprender la litoestratigrafía de las zonas anteriormente mencionadas, ya que esta es de suma importancia para realizar un análisis detallado y describir las diferentes facies de la Formación Yumagual.

Este proyecto de investigación abarca temas sobre facies sedimentarias, litoestratigrafía y columnas estratigráficas de la Formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco.

El tiempo en que se ha realizado esta investigación fue de siete meses aproximadamente.

Se tiene como limitaciones la ausencia de microscopios para la identificación de microfósiles y la falta de especialistas en estratigrafía y paleontología.

Teniendo como objetivo general realizar la Correlación Litoestratigráfica de la Formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco, y como objetivos específicos determinar las condiciones de depositación, determinar los espesores de los estratos y elaborar columnas estratigráficas.

Como descripción de los capítulos se tiene: En el Capítulo II. Marco Teórico, se encuentran los antecedentes teóricos, bases teóricas y la definición de términos básicos en la investigación como: facies sedimentarias, bioestratigrafía, correlación estratigráfica, litoestratigrafía, litología y unidades cronoestratigráficas. En el Capítulo III. Materiales y Métodos, se ubicaron las zonas de investigación y se describió el procedimiento de la investigación. En el Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados, se realizó el análisis de resultados y la contrastación de la hipótesis. El Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones están en función de los objetivos inicialmente propuestos, y finalmente las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. INTERNACIONAL

Navarro (2014), record of Albian to early Cenomanian environmental perturbation in the eastern sub-equatorial Pacific. Esta investigación hace una comparación de la estratigrafía de isótopos de carbono obtenida en Perú con secciones publicadas del Pacífico central y occidental, el Atlántico occidental y el norte y oeste de Tethys, el cual revela un buen acuerdo general que respalda la naturaleza global de los patrones de isótopos descritos en esta investigación. Además, se documenta el desarrollo de la rampa carbonato-siliciclástica en la Plataforma Occidental del Perú y sus correspondientes asociaciones de facies sedimentarias del Cretácico inferior y superior.

2.1.2. NACIONAL

Jacay (2005), análisis de la sedimentación del sistema Cretácico de los Andes del Perú central. Explica como el sistema Cretácico en los Andes del Perú central se encuentra en discordancia sobre terrenos de diferentes edades, desde el precámbrico hasta el jurásico superior.

Jaillard (1990), evolución de la Margen Andina en el Norte del Perú desde el Aptiano Superior hasta el Cenoniano. Estudió como la transgresión del Aptiano Superior fue general y estuvo asociada a una inestabilidad tectónica local, que finalizó con la regresión que fue la base para el Cenomaniano medio.

Reyes (1980), geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, serie A, Boletín N° 31. Determinó que la Formación Yumagual suprayace con leve discordancia a la Formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la Formación Mujarrún y Grupo Quiquiñan y se encuentra expuesta ampliamente dentro y fuera del área específicamente a partir del río Crisnejas, San Marcos y Cajamarca.

Tafur (1950), estudio Preliminar de la Geología de Cajamarca. Describió las correlaciones estratigráficas y ubico en el tiempo geológico a las formaciones por medio de correlaciones de presencia fosilífera en la Cuenca de Cajamarca.

2.1.3. LOCAL

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. Determinaron el comportamiento de la Cuenca Occidental, en el proceso de relleno sedimentario desde el Berriasiano – Valanginiano (Cretáceo Inferior) hasta el Santoniano – Campaniano (Cretáceo Superior).

Medina (2014), estratigrafía Secuencial de la Formación Yumagual en el distrito minero de Hualgayoc- Cajamarca. Realizó un estudio de la Estratigrafía Secuencial de la Formación Yumagual, llegando a concluir que existen tres secuencias estratigráficas por calizas nodulosas, calizas fosilíferas intercaladas con arcillitas, margas y calizas grises gruesas poco marmolizadas e indica que se habrían formado en un mar de poca profundidad.

Mejía (2012), estudio Sedimentológico y Estratigráfico del Caserío de Puyllucana - Otuzco Cajamarca. Describió las formaciones aflorantes desde Puyllucana - Otuzco, detallando el comportamiento litoestratigráfico y estructural de estas. Actualizó la columna según la edad y al piso en el que corresponden estas formaciones, identificando los tres miembros de la Formación Yumagual.

Terrones (2014), caracterización litológica y paleontológica de la Formación Yumagual en el Distrito de Cajamarca. Se hizo un reconocimiento y análisis macroscópico de la paleontología y litología de la Formación Yumagual (Albiano superior – Cenomaniano inferior), en el distrito de Cajamarca (sector Noroccidental del territorio Peruano), en los caseríos de Puyllucana, Ronquillo y Choropunta.

2.2. BASES TEÓRICAS

Para realizar esta investigación se han tenido en cuenta las siguientes bases teóricas:

2.2.1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA ESTRATIGRAFÍA

Según Rivera (2011), los principios fundamentales de la estratigrafía son:

2.2.1.1. Principio de la horizontalidad

Este principio enunciado por Nicolas Steno, indica que, al formarse los estratos por primera vez, sus superficies son casi horizontales a la superficie de sedimentación y que ahora se encuentran inclinados debido a que han sido deformados posteriormente.

2.2.1.2. Principio de la superposición

Steno (1669), enunció el principio de la superposición de estratos, en el que menciona que, en una sucesión de materiales estratificados que no han sido deformados, un estrato es más joven en su formación que aquel que está debajo y más antiguo al que tiene encima.

2.2.1.3. Principio del uniformismo

En 1788 James Hutton, definió que las leyes y los procesos naturales habían permanecido inmutables a lo largo del tiempo, esto se refiere a que, a lo largo de la historia de la Tierra todos los fenómenos ocurridos han sido uniformes y semejantes a los actuales. Los grandes procesos geológicos habían ocurrido siempre y en la actualidad siguen teniendo lugar, uniformemente, diferenciándose sólo en su intensidad y tiempo de duración.

2.2.1.4. Principio del actualismo

Este principio fue generalizado y enunciado por Charles Lyell. Los fenómenos geológicos que ocurrían en otras épocas tenían las mismas causas o los mismos condicionantes que los fenómenos actuales. Este principio constituye el fundamento básico de la geología, pues es el punto básico de toda interpretación o análisis interpretativo. La frase con la que se simplifica este principio es, “el presente es la clave del pasado”.

2.2.1.5. Principio de la sucesión faunística

Este principio emitido por William Smith y desarrollado por Georges Cuvier, indica que, los fósiles que se encuentran en los estratos superiores serán más

modernos a aquellos que se encuentran en los estratos inferiores. Además, en cada intervalo de tiempo de la historia geológica, los organismos que vivieron y, que por tanto pudieron fosilizar, fueron diferentes y no repetibles.

2.2.2. OBJETIVOS DE LA ESTRATIGRAFÍA

Según Vera (1994), los objetivos de la estratigrafía son diversos y sucesivos, y pueden resumirse en los siguientes:

2.2.2.1. Identificación de los materiales

Trata de reconocer e identificar los diferentes tipos de materiales estratificados, mediante su litología, textura, estructuras y contenido fósil. El conjunto de estas propiedades es lo que se conoce como facies.

2.2.2.2. Delimitación de las unidades estratigráficas

Después de identificar los materiales, se deben delimitar los volúmenes de rocas sedimentarias en función a su litología y separar unidades estratigráficas (litoestratigráficas), las que serán representadas sobre mapas topográficos mediante cartografía litoestratigráfica.

2.2.2.3. Ordenación relativa de las unidades (sucesiones estratigráficas)

Estudio de la relación que existe entre dos unidades litoestratigráficas superpuestas, en el que se deduce la continuidad o discontinuidad del proceso sedimentario entre ellas.

2.2.2.4. Interpretación genética de las unidades

Una vez establecida la trama de las unidades litoestratigráficas, se aplica el principio del uniformismo. Así se comparan los datos observados en cada unidad con los conocidos en los diferentes medios sedimentarios actuales. Con la sedimentología se quiere llegar a conocer las condiciones sedimentarias desde el inicio del depósito (materiales más antiguos) hasta la sedimentación de los más modernos, del área estudiada.

2.2.2.5. Levantamiento de secciones estratigráficas

Ordenamiento temporal de todas las unidades litoestratigráficas encontradas en un área, desde la más antigua a la más moderna, estableciendo la sección estratigráfica local. Comparandolas con secciones 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.

2.2.2.6. Correlación

Establecidas las secciones estratigráficas de diferentes áreas, se puede comparar y establecer la equivalencia de los diferentes estratos, por su contenido fósil o por las propiedades físicas de determinados niveles.

2.2.2.7. Introducción de la coordenada tiempo

Con el mayor número de datos posibles se desea establecer la edad de los materiales. Por esto se usan los datos bioestratigráficos y, si es posible, datos radiométricos y magnetoestratigráficos. Así se delimitan las unidades bioestratigráficas y cronoestratigráficas.

2.2.2.8. Análisis de cuencas

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

2.2.3. TIPOS DE ESTRATIFICACIÓN

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

2.2.3.1. 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.

- a. **Estratos tabulares:** Cuando las dos superficies de estratificación (techo y muro) son planas y paralelas entre sí.
- b. **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.
- c. **Estratos acanalados:** Con escasa extensión lateral y espesor muy variable, con una geometría interna semejante a la de la sección de un canal.
- d. **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.
- e. **Estratos lenticulares:** Son discontinuos con el muro plano y el techo convexo. Una variante de estos son los estratos con forma biconvexa.
- f. **Estratos ondulados:** Se caracterizan por ser continuos con muro plano y techo ondulado, con estructuras de ripples de corrientes o de olas.

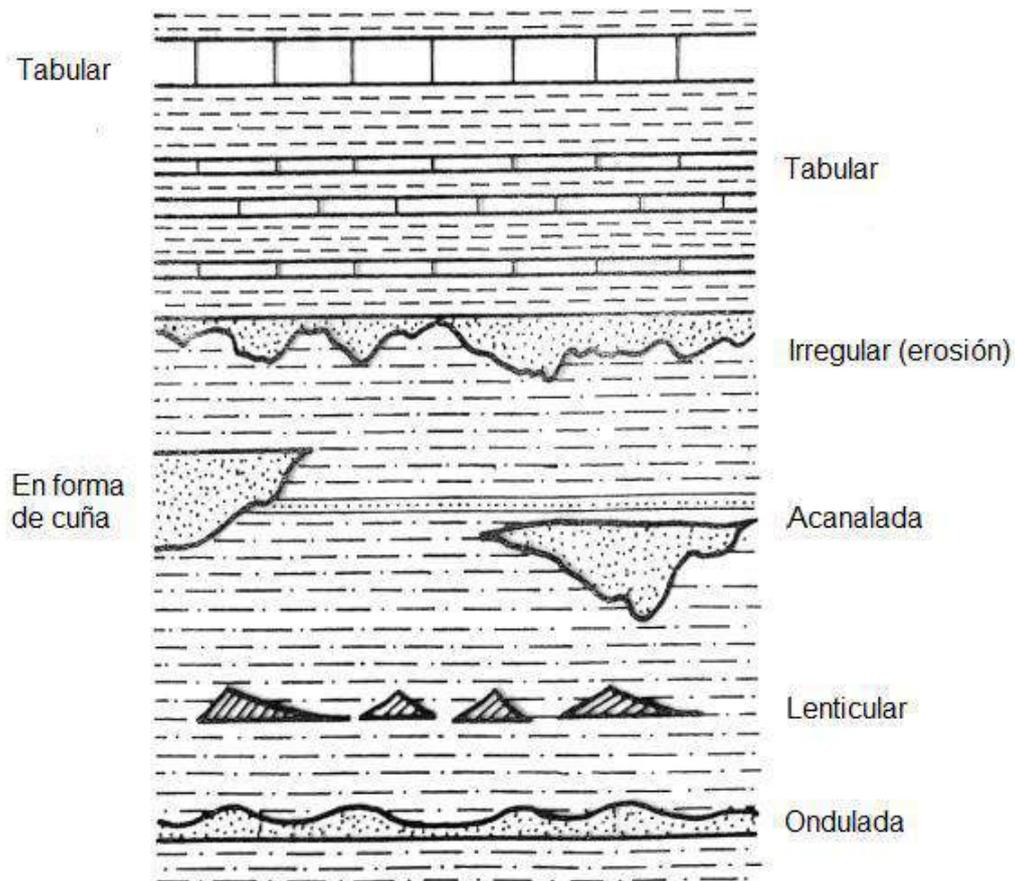


Figura 1. Tipos de estratigrafía (Vera, 1994).

2.2.3.2. Asociación de estratos

Cuando se analizan conjuntos de estratos superpuestos se puede realizar diversas clasificaciones basadas en criterios de tipo descriptivo, que representan diferentes tipos genéticos.

Un primer aspecto a considerar es la ordenación de espesores de los estratos individuales en los conjuntos de estratos sucesivos.

a. Uniforme

Los espesores de los estratos sucesivos tienen todos ellos unos valores análogos, con un valor real muy cercano a la media estadística de todos los espesores.

b. Aleatoria o de espesor variable

Los espesores de los diferentes estratos superpuestos son muy variables y no presentan ninguna ordenación definida.

c. Estratocreciente

Los espesores tienen una ordenación en lotes de estratos con valores de espesores crecientes hacia el techo, dentro de cada lote. Este tipo de ordenamiento también se le conoce con el nombre de secuencia negativa (Lombard, 1956).

d. Estratodecreciente

Es el contrario del anterior, o sea, con disminución de los espesores de los estratos hacia el techo en cada lote. Este tipo de ordenamiento también se le conoce con el nombre de secuencia positiva (Lombard, 1956).

e. En haces

Los espesores de los estratos se distribuyen por lotes de estratos de espesores uniformes dentro de cada lote y diferentes entre lotes.

A estas modalidades de asociaciones geométricas de estratos hay que añadir la estratificación masiva, nombre que se utiliza para denominar intervalos de rocas sedimentarias en los que la estratificación no es distinguible a simple vista.

Un segundo tipo de clasificación estaría basado en la litología de los estratos que se superponen. Se pueden diferenciar los siguientes tipos:

Homogénea: Cuando los estratos sucesivos tienen la misma naturaleza.

Heterogénea: Cuando estos cambian de manera desordenada.

Rítmica: Cuando alternan ordenadamente dos tipos de litología.

Cíclica: Cuando el módulo que se repite es de más de dos litologías.

Los términos a, b y c corresponden a tres tipos litológicos, en los que a sería el término de mayor tamaño de grano (en rocas detríticas) o de mayor energía (en rocas carbonatadas).

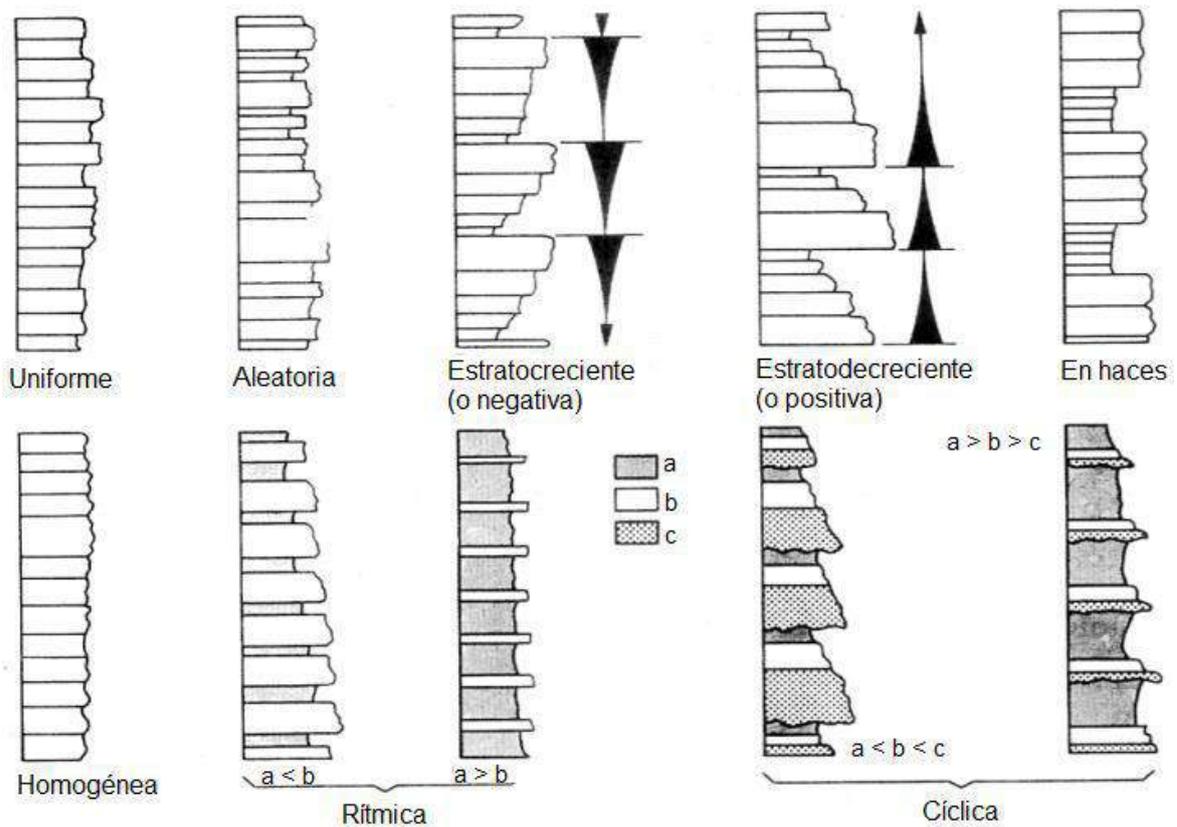


Figura 2. Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes (Vera, 1994).

2.2.4. MEDIDA DE LA ESTRATIFICACIÓN

Según Navarrete (2014), se puede medir en los estratos tres valores absolutos:

2.2.4.1. Rumbo

Es el ángulo que forma con el norte geográfico, la línea de intersección (traza) de la superficie de estratificación con un plano horizontal.

2.2.4.2. Buzamiento

Es el ángulo que forma la superficie del estrato con un plano horizontal, medido en un plano perpendicular vertical, ortogonal a la traza del rumbo.

2.2.4.3. Espesor

Es la distancia, entre los planos de estratificación limitantes, medida perpendicularmente a ellos.

Espesor estratigráfico = distancia inclinada x seno del ángulo de pendiente

Datos

Distancia inclinada = 48 m

Ángulo de pendiente = 50°

Espesor estratigráfico = $48 \times \text{sen}(50^\circ)$
= 37 m

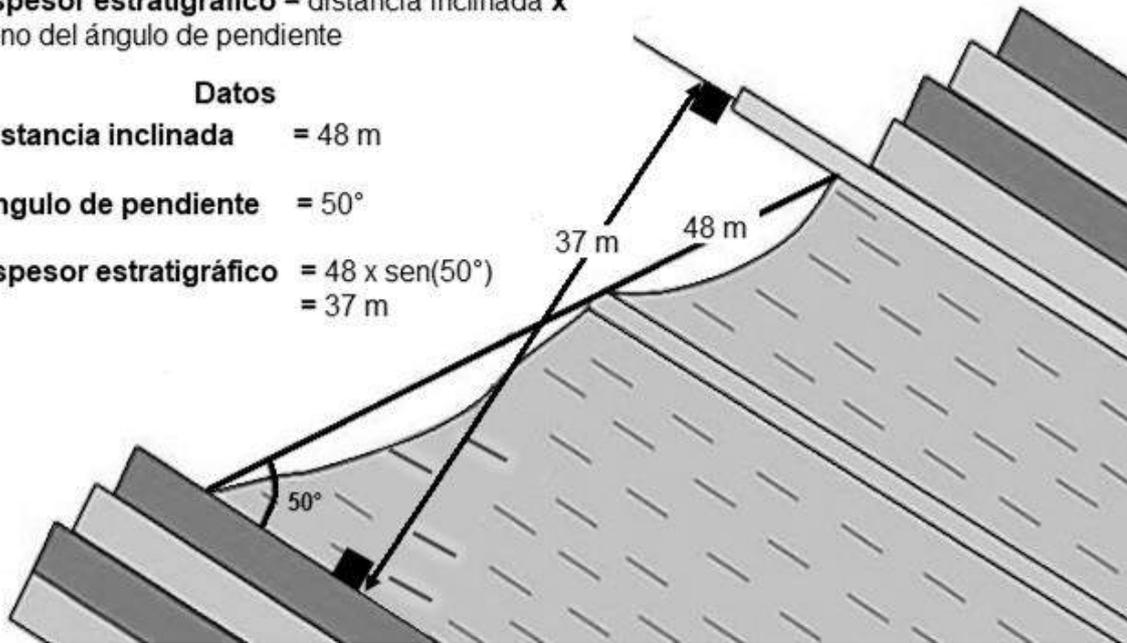


Figura 3. Medición de la estratigrafía (Krumbein, 1969).

2.2.5. CALIFICATIVOS PARA DESCRIBIR LAS DIFERENCIAS ENTRE ESTRATIFICACIÓN Y LAMINACIÓN

Tabla 1. Calificativos para clasificar estratificación y laminación según su espesor (Potter et al., 1980).

Espesor	Calificativos para clasificar la estratificación	Calificativos para describir la partición
Sin estructura interna aparente	Estratos masivos	Masivo
> 10 m	Estratos muy gruesos	Masivo
3 a 10 m	Estratos gruesos	Bloques
1 a 3 m	Estratos medios	Bloques
30 cm a 1 m	Estratos delgados	Fragmentos
1 cm a 30 cm	Estratos muy delgados	Fragmentos
5 mm a 1 cm	Láminas gruesas	Lajas
1 mm a 5 mm	Láminas medias	Laminas
0.5 mm a 1 mm	Láminas delgadas	Fisibles
< 0.5 mm	Láminas muy delgadas	Hojoso

2.2.6. FACIES

Aunque el término facies fue usado por Steno en la segunda mitad del siglo XVII para aludir al aspecto externo de las rocas, fue Gressly (1814-1864) quien en 1838 lo introduce en la nomenclatura geológica para denominar a la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica, o sea para definir el aspecto general de las rocas o al conjunto de propiedades que las definen.

Para Walther (1893-1894) es el conjunto de características primarias de una roca sedimentaria. La intención de esta definición es considerar los aspectos ambientales.

Según Haug es el conjunto de características litológicas y paleontológicas que identifican un depósito sedimentario; y aunque sirve para definir una unidad estratigráfica no debe usarse como tal. El concepto de facies no implica una distribución espacial.

En su acepción abstracta, facies es un conjunto de propiedades (por lo tanto, carece de dimensiones) que caracterizan a los materiales estratificados. En otros casos, en su acepción concreta, se usa para denominar a un volumen de materiales caracterizados por sus propiedades y, por lo tanto, si tiene dimensiones.

En cualquiera de las acepciones usadas, según Walker (1984), la definición de facies debe ser totalmente objetiva y debe basarse en los datos obtenidos en el campo al observar las rocas. En esta observación hay que tomar en cuenta los datos geométricos (espesor y forma de los estratos) y los relativos a las propias rocas (litología, textura, estructuras sedimentarias, fósiles, color), destacando aquellos que sean más representativos de su génesis.

No obstante, hay autores que usan el término facies con un sentido genético, dado que el aspecto de los materiales está controlado por su génesis, por Ejemplo: facies turbidíticas o facies pelágicas, facies fluviales, etc., para evitar introducir un término subjetivo se debe emplear el término facies en su acepción concreta, basado en criterios objetivos, es decir en el conjunto de propiedades que definen a los materiales o a los materiales con dichas características. Por Ejemplo: facies de calizas micríticas de 50 cm de espesor, con laminación paralela y pelecípodos y gastrópodos, es un dato objetivo, en cambio la indicación del ambiente o medio sedimentario de depositación es interpretativo.

2.2.7. TIPOS DE FACIES

Dado que son diversos los aspectos 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), según Vera (1994).

2.2.7.1. Litofacies

El término litofacies se usa para referirse exclusivamente a los aspectos litológicos (no los paleontológicos) de un conjunto de estratos y correlativamente para las condiciones físico-químicas (no biológicas) que presidieron durante el depósito.

2.2.7.2. Biofacies

El término biofacies se refiere a los aspectos paleontológicos y a las condiciones biológicas dominantes durante el depósito. Ejemplos de biofacies pueden ser "facies de gasterópodos", "facies de bivalvos", "facies de radiolarios".

Según Hallam (1981), hacer la división de facies en litofacies y biofacies es redundante, ya que los fósiles forman parte de la roca, hasta el punto de considerar sinónimos los términos facies y litofacies, y no usar el de biofacies.

2.2.7.3. Microfacies

Microfacies es un término introducido en la nomenclatura estratigráfica desde el mundo de la Geología del Petróleo para denominar al conjunto de características litológicas y paleontológicas que se observan al microscopio en lámina delgada y, correlativamente, a las condiciones genéticas que controlaron su depósito.

2.2.8. CLASIFICACIÓN DE LAS FACIES

Según Vera (1994), los tipos de facies y sus asociaciones son de gran utilidad en los estudios sedimentológicos y estratigráficos.

Para designar el contenido de una facies se usan las características del cuerpo de roca. Caliza de gasterópodos, areniscas de pelecípodos, margas de trilobites o areniscas conglomerádicas rojas, son contenidos de facies.

Las denominaciones o nombres de las facies pueden ser diferentes, se puede utilizar nombres de características descriptivas o de alguna interpretación subjetiva, como, por ejemplo:

Facies de calizas de ammonites: Es un nombre descriptivo y objetivo de una facies.

Facies neríticas de aguas calientes: Es un nombre interpretativo o subjetivo de una facies.

Aunque generalmente se emplean nombres con características litológicas y paleontológicas o, mejor dicho, características paleoecológicas - paleogeográficas, no deben utilizarse nombres compuestos tales como:

Facies de calizas arenosas de gasteropodos y ostras del Paleógeno – Neógeno.
Facies de mares tropicales de aguas poco profundas.

Es común nombrar una facies en base a:

Tabla 2. Facies según su tipo de características o contenido (Vera, 1994).

Tipo de característica o contenido	Facies
1. Características litológicas	Areniscas conglomerádicas rojas Calizas margosas Areniscas verdes (Areniscas glauconíticas) Arcillolitas piríticas Dolomitas – anhidritas
2. Contenido biológico (paleontología)	Globigerinas Crucianas Corales - nerineas Aptycus
3. Contenido y características litológicas y biológicas	Calizas de algas Calizas rojas de ammonites Pizarras bituminosas de graptolites

2.2.9. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

Una columna es una representación gráfica de los diversos materiales que se encuentran, en una zona específica, tal como se ha sedimentado, los más antiguos en la parte inferior y los más modernos en la parte superior.

Para construir una columna estratigráfica, hay que medir en el campo el espesor de todas las capas, empezando por las inferiores y continuando hacia las superiores. En un mapa se pueden poner diversas columnas, realizadas en lugares diferentes, con el fin de compararlas y observar cómo los sedimentos de una misma edad (color) cambian lateralmente de potencia (espesor) o de facies (tipo de sedimento).

Es una representación vertical de la superposición de distintos fenómenos físicos presentes en la naturaleza los cuales, a lo largo del tiempo geológico, ya sea en millones o miles de años, depositan las diferentes capas de sedimentos y estratos que se encuentran presentes en la actualidad. La interpretación de estos fenómenos y los ambientes donde éstos se producen (continentales y/o marinos) es clave para determinar la evolución de los distintos cambios que se han producido a lo largo de la formación de la Tierra (Navarrete, 2014).

2.2.10. CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

La correlación estratigráfica es una de las técnicas de mayor interés en Estratigrafía y consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas, de un intervalo de tiempo semejante, estableciendo la equivalencia entre los niveles o superficies de estratificación reconocibles en cada una de ellas.

El objetivo fundamental de la correlación estratigráfica es ampliar la validez de los datos estratigráficos locales. Al comparar varias secciones estratigráficas se puede ver la relación lateral entre las diferentes unidades estratigráficas representadas en ellas y los cambios de facies. y con ello deducir las características estratigráficas de una región más amplia, concretamente de aquella en la que quedan incluidos todos los sectores en los que se han levantado las secciones estratigráficas locales que son comparadas (Vera, 1994).

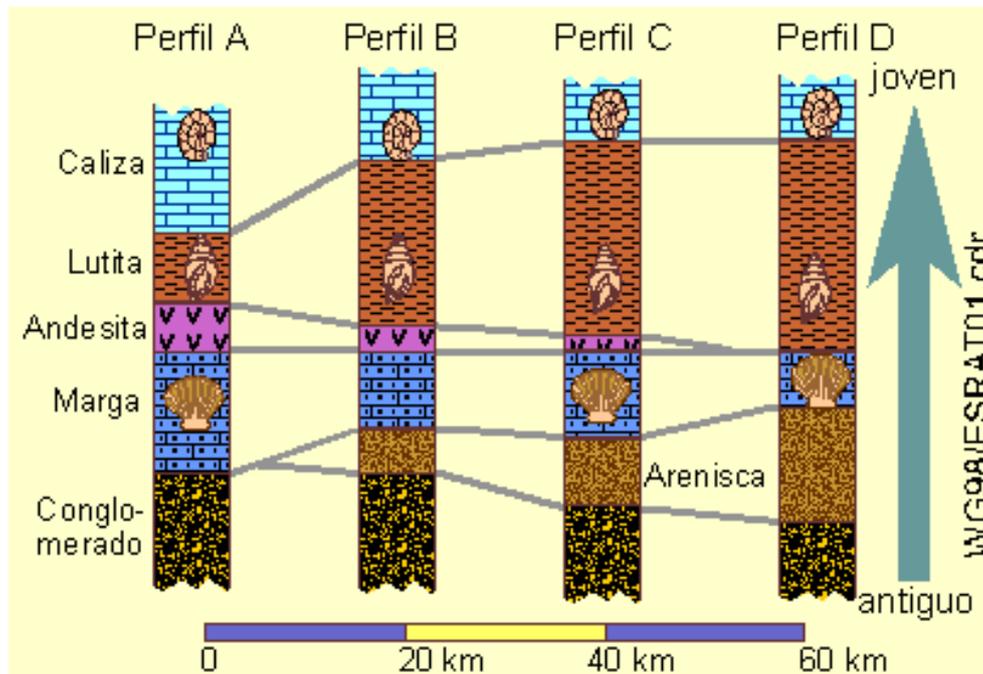


Figura 4. Modelo de Correlación Estratigráfica (Milley y Stones, 2006).

2.2.11. TIPOS DE CORRELACIÓN

Correlación es la comparación entre dos o más secciones estratigráficas y se pueden tener varios tipos de correlación en función del aspecto o propiedad que se comparen y los rasgos que se intenten destacar. Según Vera (1994), los tres tipos de correlación básicos son los que se describen a continuación:

2.2.11.1. La litocorrelación o litoestratigráfica

Pretende demostrar la correspondencia en cuanto al carácter litológico y la posición litoestratigráfica. Para hacer este tipo de correlación se comparan las unidades litoestratigráficas presentes en cada una de las secciones estratigráficas y los niveles de litologías especiales dentro de las mismas.

2.2.11.2. La biocorrelación o correlación bioestratigráfica

Intenta establecer la correspondencia entre dos niveles fosilíferos, basándose en la presencia de ciertos fósiles y en su posición bioestratigráfica. En la biocorrelación tiene un enorme interés el reconocimiento de los biohorizontes de primera aparición y los de última presencia de los fósiles característicos en diferentes secciones estratigráficas.

2.2.11.3. La cronocorrelación o correlación cronoestratigráfica

Tiene como finalidad el establecimiento de la correspondencia de superficies isócronas y el reconocimiento de su posición cronoestratigráfica.

Consiste en la comparación temporal de dos o más secciones estratigráficas, para lo cual, se seleccionan los rasgos estratigráficos que indiquen simultaneidad y faciliten el establecimiento de la correspondencia de todas las unidades estratigráficas representadas.

2.2.12. SISTEMA GRÁFICO DE CORRELACIÓN DE SHAW

Para la correlación litoestratigráfica de dos secciones levantadas dentro de una misma cuenca, se utiliza el sistema gráfico de correlación de Shaw (1964), o "diagrama de Shaw" (Vera, 1994).

El método de Shaw, incluye primero la selección de una sección estratigráfica con una sección de referencia a la cual otras secciones se pueden comparar y correlacionar. Esta sección de referencia debería ser la sección con mayor espesor disponible, debería estar libre de fallamientos u otras complicaciones estructurales. La sección de referencia se mide y se muestrea tan completamente como sea posible, y las facies que contiene esta sección. Luego se escoge una segunda sección estratigráfica para compararse con la sección de referencia y las facies que contiene esta sección (Shaw, 1964).

Este sistema de representación consiste en colocar las dos secciones o perfiles estratigráficos (X e Y), en un eje de coordenadas dibujados con la misma escala. El eje de coordenadas se hace coincidir con una superficie de correlación (isócrona) reconocible en la base de cada una de las secciones, la cual servirá de referencia para iniciar la correlación. A partir de ella se van comparando los diferentes niveles de facies (Vera, 1994).

Este procedimiento produce una serie de puntos que tienden a agruparse alrededor de una línea recta. Esta línea se puede dibujar visualmente para producir la línea de mejor ajuste. Las coordenadas X e Y de cualquier punto sobre esta línea proporciona una correlación estratigráfica precisa entre las dos secciones (Shaw, 1964).

Todos los puntos que queden situados sobre la línea o muy cerca de la misma, se consideran isócronos en ambas secciones, mientras que aquellos que se separen de la línea marcarán posibles fenómenos.

Además, por su utilidad en correlación entre dos secciones estratigráficas, el método de correlación gráfico también proporciona una herramienta útil para evaluar diferencias en tasas de sedimentación entre dos secciones o la presencia de hiatos en una sección. La pendiente de la línea de mejor ajuste indica la tasa relativa de sedimentación entre dos áreas. Si un cambio abrupto ocurre en esta pendiente, este cambio sugiere un incremento o decrecimiento repentino en las tasas de sedimentación en las secciones.

2.2.12.1. Correlación tipo A

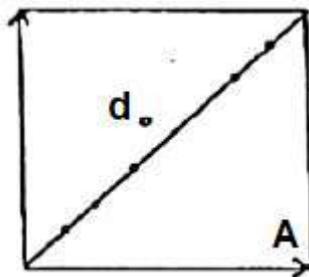


Figura 5. Correlación linear tipo A, de dos perfiles con el mismo espesor, con la letra d se marcan los niveles diacrónicos (aquellos que se separan de la línea de correlación) (Shaw, 1964).

2.2.12.2. Correlación tipo B

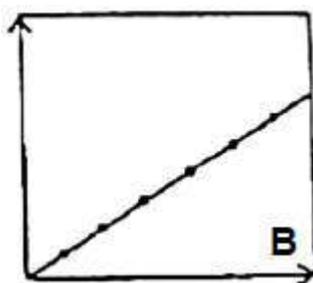


Figura 6. Correlación tipo B, entre dos perfiles en la que el perfil X tiene un mayor espesor (mayor tasa de sedimentación) (Shaw, 1964).

2.2.12.3. Correlación tipo C

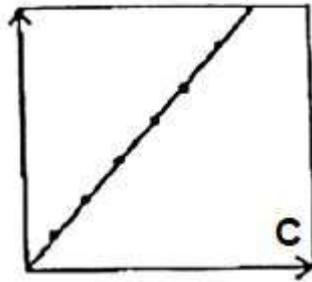


Figura 7. Correlación tipo C, entre dos perfiles en la que el perfil Y tiene un mayor espesor (Shaw, 1964).

2.2.12.4. Correlación tipo D

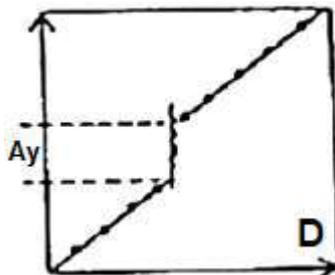


Figura 8. Correlación tipo D, modo gráfico de detectar un hiato en el perfil X (Shaw, 1964).

2.2.12.5. Correlación tipo E

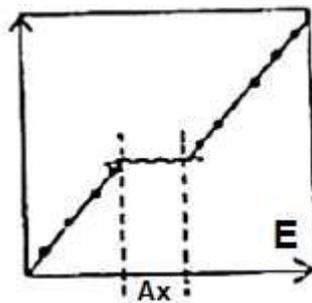


Figura 9. Correlación tipo E, modo gráfico de detectar un hiato en el perfil Y (Shaw, 1964).

2.2.13. CLASIFICACIÓN DE ROCAS CARBONATADAS

Para este estudio se han utilizado tres clasificaciones de rocas carbonatadas, las cuales se describen a continuación:

2.2.13.1. Clasificación según Dunham (1962)

Dunham distingue dos tipos generales de carbonatos (rocas y sedimentos carbonáticos) (1) los que presentan textura deposicional reconocible, y (2) los que presentan textura cristalina, no siendo posible reconocer la textura deposicional.

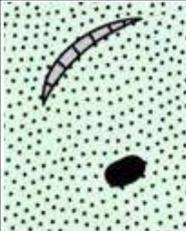
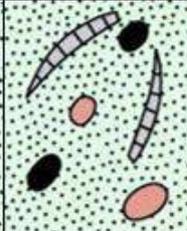
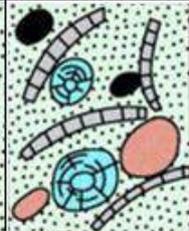
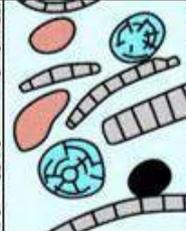
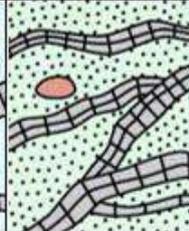
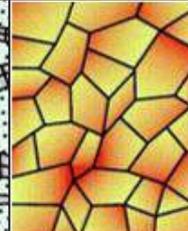
Textura deposicional reconocible					Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación			Esqueleto clasto - soportado sin barro micrítico	Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bio - construcción	
Con barro micrítico		Esqueleto grano - soportado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

Figura 10. Clasificación de rocas carbonatadas (Dunham, 1962).

a. 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.

b. Carbonatos cristalinos cuya textura deposicional no es reconocible

2.2.13.2. Clasificación según Folk (1962)

Folk establece una clasificación de calizas teniendo en cuenta las proporciones relativas de los tres constituyentes básicos: granos (aloquímicos), matriz micrítica y cemento esparítico (ortoquímicos).

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

CALIZAS ORTOQUÍMICAS		CALIZAS ALOQUÍMICAS			
MATRIZ ↑ GRANOS ↓ (< 10%)		GRANOS ↑ (> 10%)		BIOLITITA	
GRANOS < 1%	GRANOS < 10%	+ MATRIZ	+ CEMENTO		
MICRITA 	Micrita Intraclástica	Intramicroita	Intraesparita	> 25% Intraclastos	
	Micrita Oolítica	Oomicrita	Ooesparita	> 25% Ooides	
DISMICRITA 	Micrita Fosilífera	Biomicrita	Bioesparita	Fos / Pel > 3/1	< 25% Ooides
	Micrita con pellets	Biopelmicrita	Biopelasparita	3/1 < Fos / Pel > 1/3	
		Pelmicrita	Pelesparita	Fos / Pel < 1/3	
				< 25% Intraclastos	

Figura 11. Clasificación de rocas carbonatadas (Folk, 1962).

2.2.13.3. Clasificación según Embry y Klovan (1971)

Rudstone: Textura grano soportado, en la que los clastos tienen un tamaño mayor a 2 mm y están en una proporción superior al 10%.

Floatstone: Textura matriz soportada, en la que los clastos tienen un tamaño mayor a 2mm y están en una proporción superior al 10%.

Dentro de los Boundstone se diferencian los siguientes tipos:

Framestone: Tipo de bioconstrucción en la que los organismos construyen armazones rígidos.

Bindstone: Tipo de bioconstrucción por organismos (esqueléticos o no) que incrustan y atrapan el sedimento.

Bafflestone: Tipo de bioconstrucción en la que los organismos atrapan sedimentos por efecto pantalla.

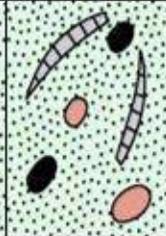
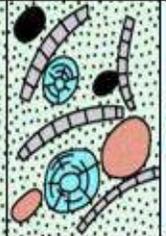
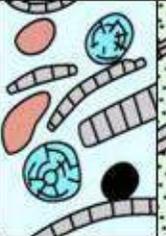
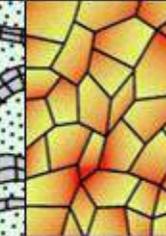
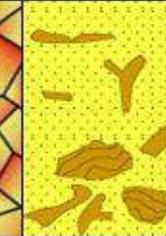
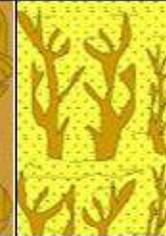
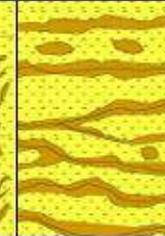
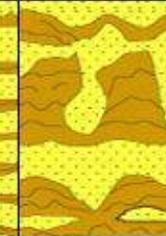
Componentes originales no enlazados durante el depósito				Componentes originales enlazados orgánicamente	Textura original no reconocible Carbonatos cristalinos	> 10% de granos granos > 2mm		Tipo de enlace orgánico		
Con matriz		Grano-sostenida	Sin matriz y grano-sostenida			Sostenida por la matriz	Grano-sostenida	Organismos actúan como pantallas	Organismos se incrustan y enlazan	Organismos construyen un edificio rígido
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos									
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone			Boundstone	Crystalline	Floatstone	Rudstone	Bafflestone
										

Figura 12. Clasificación de rocas carbonatadas (Embry y Klovan ,1971).

2.2.14. CLASIFICACIÓN DE ROCAS DETRÍTICAS

2.2.14.1. Clasificación según Teruggi (1982)

Se denominan rocas detríticas, a las formadas por fragmentos de rocas y/o minerales preexistentes, que han sido transportados hasta el lugar de depósito. Los minerales y rocas que las componen, se originan fuera del área de depósito y son transportados a ella en forma de partículas sólidas por diversos agentes: agua, hielo, viento y acción de la gravedad. Estos componentes sólidos son llamados clastos, detritos o partículas, y se clasifican según su tamaño (Escala de Udden-Wentworth).

De esta manera, las rocas sedimentarias clásticas están constituidas por fragmentos de roca y minerales que representan a los materiales de la meteorización y la erosión de la superficie.

	CLASTO	SEDIMENTO	mm	SEDIMENTITA ó ROCA SEDIMENTARIA	
PSEFITA	Bloque	Aglomerado		Aglomerado (Conglomerado de bloques)	
	Guijón	Grava	256	Conglomerado o brecha	
	Guijarro		128		Grueso
	Guija		64		Mediano
		32	Fino		
PSAMITA	Grano	Arena	16	Arenisca	
			8		Muy gruesa
			4		Gruesa
			2		Mediana
			1		Fina
			0,5		Muy fina
PELITA	Partícula	Limo	0,25	Limolita	
			0,125		Grueso
			0,062		Mediano
			0,031		Fino
			0,016		Muy fino
		Arcilla	0,008	Arcilita	
			0,004		Gruesa
			0,002		Mediana
			0,001		Fina
			0,0006		Muy fina

Figura 13. Clasificación de rocas detríticas basada en la escala granulométrica de Udden-Wentworth (Teruggi, 1982).

2.2.15. TAXONOMÍA DE LOS FÓSILES

Es la clasificación de los fósiles, según Linneo (1758), se tienen los siguientes taxones:

2.2.15.1. Reino

Unidad más amplia.

2.2.15.2. Phylum

Viene a ser la base de la sistemática biológica.

2.2.15.3. Clases

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

2.2.15.4. Orden

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

2.2.15.5. Familia

Otra categoría que, perteneciendo a la misma Clase, pero tiene alguna diferencia que permite su separación.

2.2.15.6. Género

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

2.2.15.7. Especie

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

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Arcillita: Roca sedimentaria clástica compuesta esencialmente de arcillas. Los ambientes de formación de las arcillitas son mares de poca profundidad (Dávila, 2011).

Facies sedimentarias: Conjunto de características litológicas y faunísticas de una unidad estratigráficas que permite distinguirla de las adyacentes (Gressly, 1838).

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).

Caliza: Roca sedimentaria calcárea compuesta por CaCO_3 principalmente. Los ambientes de formación de las calizas son mares profundos o batiales (Dávila, 2011).

Correlación estratigráfica: Demostración de la correspondencia en carácter y/o en posición estratigráficas. El tipo de correlación se indica mediante un prefijo. Por ejemplo: litocorrelación, biocorrelación, cronocorrelación (Reguant, 2001).

Isocrono: Término que indica 2 o más sucesos, procesos o seres vivientes que se han producido, formado o desarrollado en un mismo periodo de tiempo (Dávila, 2011).

Litoestratigrafía: Parte de la estratigrafía que trata de la descripción y nomenclatura de las rocas de la Tierra, basándose en su litología y sus relaciones estratigráficas (Reguant, 2001).

Litología: Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas (Dávila, 2011).

Marga: Es una roca calcárea compuesta por minerales de calcita, CaCO_3 y arcilla en un porcentaje de aproximadamente 78% de calcita y 22% de arcilla. Los

ambientes de formación de las margas son los mares intermedios o de profundidad intermedia o nerítica (Dávila, 2011).

Unidades litoestratigráficas: Son un conjunto de estratos en los que predomina una determinada litología o una determinada combinación, que se diferencia de las adyacentes. Son el resultado de una observación directa y no son objetos de una interpretación. Se puede tener en cuenta el contenido fósil, pero no como un criterio para la clasificación del estrato. Los límites de una unidad litoestratigráfica deben tomarse en zonas donde haya un límite o cambio en la litología o del rasgo que define la unidad (Navarrete, 2014).

Unidades cronoestratigráficas: Son aquellas unidades constituidas por el volumen de estratos diferenciados por su edad, es decir, que se refieren a los estratos formados durante un tiempo determinado (Reguant, 2001).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. GEOGRÁFICA

El área de investigación corresponde a la Carta Nacional de San Marcos (15-g), dentro de las coordenadas con proyección geográfica (UTM) Datum WGS-84. Los vértices que delimitan las áreas de estudio son los siguientes (Planos N° 02, 03 y 04):

Tabla 3. Coordenadas UTM (sistema WGS-84) de vértices de las áreas de estudio.

	Vértice	Área		
		Otuzco	Matara	San Marcos
1	Latitud	9214525	9196811	9198000
	Longitud	785288	803724	816322
2	Latitud	9211973	9194252	9195071
	Longitud	785288	803724	816322
3	Latitud	9211973	9194252	9194742
	Longitud	781388	799474	811966
4	Latitud	9214525	9196811	9198000
	Longitud	781388	799474	811966

3.1.2. POLÍTICA

Las áreas de estudio corresponden a Otuzco, Matara y San Marcos, las que se ubican en la sierra norte del Perú; Región y Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca y San Marcos, Distrito de Matara y Gregorio Pita, Centro Poblado de Paucamarca y Otuzco, respectivamente; entre los 2200 a 2900 m.s.n.m.

3.1.3. ACCESIBILIDAD

El acceso a las áreas de estudio es por vía terrestre, por medio de carreteras asfaltadas, afirmadas y caminos de herraduras; estos caminos sirvieron para recorrer y observar con el fin de realizar la presente tesis (Plano N° 01).

Tabla 4. Accesibilidad a las áreas de estudio.

Área	Tramo	Tipo de acceso	Distancia (km.)	Tiempo (min.)
Matara	Cajamarca - Matara	Carretera asfaltada	47	90
	Matara - Jocos	Carretera afirmada	1.5	30
	Jocos - Área de estudio	Camino de herradura	0.5	10
San Marcos	Cajamarca - San Marco	Carretera asfaltada	68	120
	San Marcos - Gregorio Pita	Carretera afirmada	13	30
	Gregorio Pita - Área de estudio	Camino de herradura	3	30
Otuzco	Cajamarca - Otuzco	Carretera asfaltada	10	25
	Otuzco - Área de estudio	Camino de herradura	0.5	10

3.2. PROCEDIMIENTOS

Para el procedimiento de esta investigación se tuvieron en cuenta las siguientes tres etapas:

3.2.1. ETAPA PRELIMINAR DE GABINETE

Para la elaboración de la presente tesis, se recopiló antecedentes bibliográficos físicos y digitales relacionados a la línea del proyecto de investigación, para así tener una idea más amplia de lo que se tiene que realizar en campo y gabinete posteriormente.

Delimitación y elaboración del plano satelital y geológico del área de investigación, haciendo uso del software ArcGis 10.5.

Se determinó los instrumentos a utilizar y la metodología a seguir para la realización de dicho estudio.

3.2.2. ETAPA DE CAMPO

Se procedió a reconocer la Formación Yumagual de cada una de las áreas de estudio, identificando estructuras sedimentarias, litología y contenido fósil.

Medición del rumbo y buzamiento de los estratos y toma de coordenadas con el GPS en el sistema UTM. Datum: WGS-84.

Se midió el espesor de los estratos de la Formación Yumagual, señalando los niveles en que cambia sus características (litología, color, facies, textura).

También se sacó muestras de las rocas para clasificarlas posteriormente.

3.2.3. ETAPA DE GABINETE

Se procesó los datos obtenidos en campo haciendo uso del software ArcGis 10.5, para la elaboración las columnas estratigráficas y para realizar los planos temáticos necesarios de las áreas de investigación.

Se realizó el análisis y descripción macroscópica de las muestras de rocas, considerando su litología.

3.2.4. METODOLOGÍA

En la metodología se detallará el tipo de investigación utilizada en la presente investigación, según el nivel, el diseño, su naturaleza y su finalidad. Todos estos aspectos se describen en la Tabla 5:

Tabla 5. Clasificación de los tipos de investigación utilizados en el proyecto de investigación.

Tipos de investigación	
Clasificación	Tipos de Investigación
1. Según el nivel	Descriptiva: Para esta investigación se describieron las facies sedimentarias, estructura, texturas y litología de las rocas, de la Formación Yumagual de Matara, San Marcos y Otuzco.
2. Según el diseño	Transeccional en el tiempo: El diseño de la investigación es transeccional en el tiempo debido a que se estudiará en un determinado tiempo la correlación litoestratigráfica de la Formación Yumagual de Matara, San Marcos y Otuzco, 2019.
3. Según su naturaleza	Cualitativo: La naturaleza de la investigación es cualitativa debido a que describe sucesos complejos en su medio natural, con información preferentemente cualitativa como las características de las rocas (textura, color, estructura).
4. Según su finalidad	Aplicativa: Es aplicativa, puesto que se aplicaron y utilizaron conocimientos y teorías ya existentes, para la elaboración de la presente investigación.

3.2.4.1. Población de estudio

El afloramiento de la Formación Yumagual, específicamente en Matara, San Marcos y Otuzco.

3.2.4.2. Muestra

Las calizas, margas, arcillitas y chert del Grupo Pulluicana en la Formación Yumagual del Cretácico Superior.

3.2.4.3. Unidad de análisis

Está constituida por las facies sedimentarias, estructuras, textura, secuencias, estratos, rocas, fósiles y cronoestratigrafía de la Formación Yumagual.

3.2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Para la investigación se ha identificado variables independientes y dependientes, las cuales se relacionan directamente como se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6. Identificación de las variables de la investigación.

Variables Independientes	Variable Dependiente
Facies Sedimentarias	
Litología	
Bioestratigrafía	Correlación Estratigráfica
Tiempo Cronoestratigráfico	

3.2.6. TÉCNICAS

Las técnicas principalmente usadas para la elaboración de la presente tesis son la recopilación de antecedentes bibliográficos; planificación de las etapas realizadas en campo y gabinete; observación, descripción y medición en campo de la Formación Yumagual, para la obtención de datos que serán procesados posteriormente con la ayuda del software ArcGis 10.5.

3.2.7. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

En el desarrollo de la presente investigación se utilizaron diversos instrumentos y equipos, que hicieron posible la toma de datos y el análisis e interpretación de estos datos. Dichos instrumentos y equipos se describen a continuación en la Tabla 7:

Tabla 7. Instrumentos y equipos utilizados en campo y gabinete.

Instrumentos	Equipos
Imágenes satelitales: Para observar y verificar accesos, quebradas, centros poblados, etc., en las áreas de investigación.	Brújula Brunton: Para medir el rumbo y buzamiento de los estratos en campo.
Plano geológico: Se utilizó como referencia planos del INGEMMET a una escala 1/50000 del cuadrángulo de San Marcos (15-g).	GPS: Sistema de Posicionamiento Global. Fue utilizado para ubicar en campo puntos estratégicos y cartografiarlos en el plano geológico con coordenadas del sistema UTM, DATUM WGS-84.
Libreta de campo: Se anotaron observaciones de carácter geológico.	Cámara fotográfica digital: Se utilizó para captar fotografías del área de estudio, la cámara utilizada fue de la marca Sony (16.1 Mega pixels– 10x Optical zoom).
Protáctor (1/25000): Para colocar todos los puntos, rumbos y buzamientos tomados en campo en los planos.	Laptop: Para la elaboración de tesis se utilizó el Microsoft Office y para la elaboración de planos y columnas, el software ArcGis 10.5.
Picota: Para fracturar y extraer muestras frescas de rocas y analizarlas a detalle en gabinete.	
Lupa de aumento 20X: Para observar y reconocer a detalle los componentes minerales de una roca.	
Lápiz rayador: Para ver la dureza de las rocas.	
Ácido clorhídrico: Como reactivo químico, para identificar las rocas carbonatadas.	
Formatos: Para la realizar columnas estratigráficas en campo.	
Fichas de campo: Para la clasificación de rocas.	
Instrumentos de medición: Wincha, flexómetro y reglas.	

3.3. MARCO ESTRATIGRÁFICO

El marco estratigráfico está representado por el Grupo Pulluicana, el cual se describe a continuación:

3.3.1. GRUPO PULLUICANA

El Grupo Pulluicana presenta algunos cientos de metros de caliza, marga y lutita

aflorando en muchas zonas de la región Cajamarca, en donde se tiene una sección típica de 800 a 1100 m (Wilson,1984).

Debido a la litología y la fauna que presenta, indican depositación en un mar somero. El contraste litológico infrayacente con la Formación Pariatambo, sugiere que hubo una regresión del mar de corta duración, más o menos a fines del Albiano Medio.

El Grupo Pulluicana, según Benavides (1956), pertenece a la parte tardía del Albiano medio y el Cenomaniano temprano en base al hallazgo del fósil *Oxytropidocera Carbonarium*.

La litología predominante son calizas arcillosas, 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. Las proporciones de las calizas, margas y arcillitas son variables, con predominio de las calizas (Wilson, 1984).

El Grupo Pulluicana se correlaciona con la parte inferior de la Formación Jumasha de los Andes Centrales, y con la parte inferior de la Formación Copa Sombrero del noroeste del país (Wilson,1984).

El Grupo Pulluicana está conformada por las siguientes formaciones:

3.3.1.1. Formación Mujarrún

Tafur (1950), reconoció con el nombre de Formación Mujarrún a una unidad integrada dentro del Grupo Pulluicana.

Benavides (1956), diferencia en la Formación Mujarrún a los miembros Choro y Culebra y eleva a la categoría de Grupo a la Formación Quilquiñán, diferenciando dentro de el a las Formaciones Romirón y Coñor.

En el Boletín N° 31 se considera como una sola unidad a la Formación Mujarrún y al Grupo Quilquiñán, por razones de escala y litología. En conjunto, alcanza un espesor máximo de 500m.

La Formación Mujarrún está depositada concordantemente sobre la Formación Yumagual. La litología de la Formación Mujarrún consiste en una gruesa secuencia de calizas nodulares macizas (Miembro Choro), seguida de una intercalación de margas y arcillitas amarillentas con abundantes fósiles del género *Exogyra* (Miembro Culebra).

Esta unidad tiene extensa distribución en la región Cajamarca, y los lugares más característicos están en La Pampa de la Culebra cerca a la Encañada y partes altas entre las haciendas Huacrasurco y Sunchubamba (Reyes, 1980).

3.3.1.2. Formación Yumagual

La Formación Yumagual pertenece a la parte inferior del Grupo Pulluicana y se describe a continuación en la estratigrafía local.

3.4. ESTRATIGRAFÍA LOCAL

En cuanto a la estratigrafía local, en la presente investigación se tomó en cuenta la Formación Yumagual para un estudio litoestratigráfico a detalle.

3.4.1. FORMACIÓN YUMAGUAL

La Formación Yumagual suprayace con leve discordancia a la Formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la Formación Mujarrún y Grupo Quiquiñan (Reyes, 1980).

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.

3.4.1.1. Miembro inferior

La litología en el miembro inferior está compuesta por calizas masivas y nodulares gris parduscas intercaladas con niveles de poco espesor de arcillitas, margas y chert. Este miembro se caracteriza por presentar cefalópodos.

3.4.1.2. Miembro Medio

En la parte media se diferencia un miembro arcilloso margoso de color gris blanquesino a gris pardusco, que se intercalan con calizas gris parduscas y niveles de arcillitas. Este miembro se caracteriza por tener niveles de gran espesor de margas y arcillitas.

3.4.1.3. Miembro Superior

El miembro superior está constituido por una intercalación de calizas masivas gris parduscas con margas, encontrándose también calizas nodulares de poco espesor. Este miembro se caracteriza por tener niveles de gran espesor de calizas.

Para la descripción de algunos términos en el presente estudio, se ha considerado utilizar las siguientes abreviaturas:

Tabla 8. Abreviatura para la descripción de algunos términos en el presente estudio.

Nombre	Abreviatura
Formación	Fm.
Mudstone	M
Wackestone	W
Packstone	P
Floatstone	F
Rudstone	R

3.4.2. LITOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL CENTRO POBLADO DE OTUZCO

En la zona de Otuzco, los afloramientos de la Fm. Yumagual se encuentran en dos quebradas (Qda. Abanto (N921321 – E782952) y Qda. S/N 1 (N9213210 – E783317)) y en corte de carretera.

3.4.2.1. Facies Litoestratigráficas del Miembro Inferior de la Formación Yumagual

a) Facie de calizas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos muy delgados de calizas W con estratos muy delgados de arcillitas (Foto 1). Las calizas presentan contenido de bioclastos. Las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Esta facie tiene un espesor de 21 metros aproximadamente.



Foto 1. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

b) Facie de margas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos muy delgados de margas M con estratos delgados de arcillitas (Foto 2). Las margas y las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Esta facie tiene un espesor de 27 metros aproximadamente.

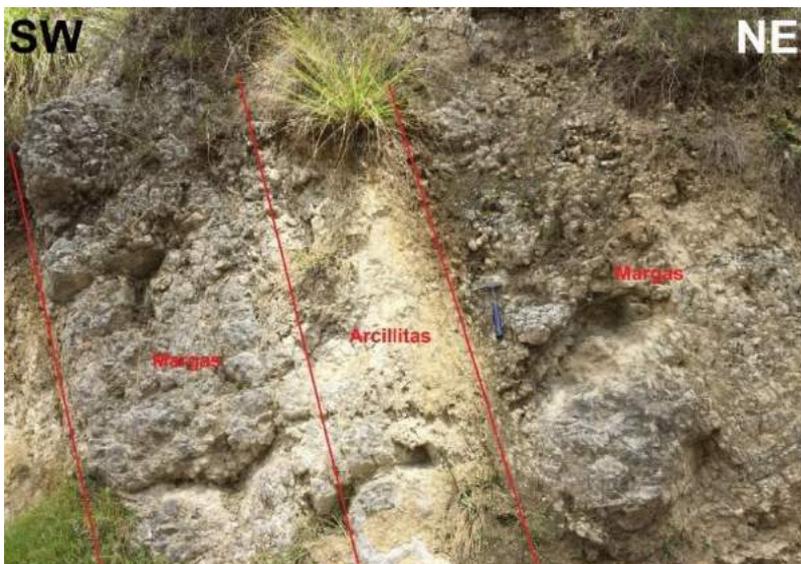


Foto 2. Intercalación de margas con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

c) Facie de calizas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos delgados de calizas W con estratos muy delgados de arcillitas (Foto 3). Las calizas presentan contenido de bioclastos y gasterópodos (Tylostoma). Las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Esta facie tiene un espesor de 21 metros aproximadamente.

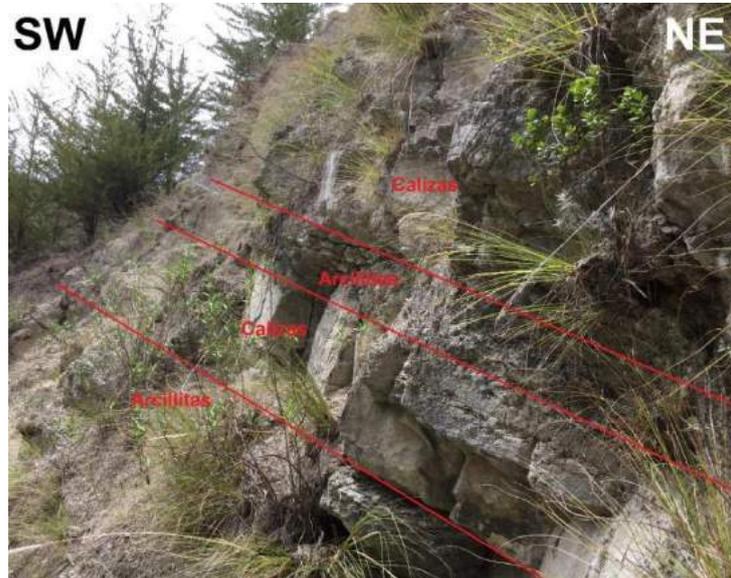


Foto 3. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

d) Facie de calizas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por una intercalación de estratos muy delgados y delgados de calizas W y R con estratos muy delgados de margas M (Foto 4). Las calizas W presentan contenido de bioclastos y las calizas R presentan alto contenido de bivalvos (Nucula) y bioclastos. Las margas no presentan contenido fosilífero. En esta facie hay presencia de estructuras de carga. Esta facie tiene un espesor de 33 metros aproximadamente.



Foto 4. Intercalación de calizas con margas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

3.4.2.2. Facies Litoestratigráficas del Miembro Medio de la Formación Yumagual

a) **Facies de calizas y calizas nodulares intercaladas con arcillitas y margas**

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos delgados de calizas W y R y estratos delgados de calizas nodulares M con estratos muy delgados de margas M y estratos delgados de arcillitas. Las calizas W presentan bajo contenido de bioclastos. Las calizas R presentan alto contenido de bioclastos y bivalvos (*Nucula* y *Ostrea Scyphax*). Las arcillitas y margas no presentan contenido fosilífero. En la parte superior de esta facie hay estratificación lenticular. Esta facie tiene un espesor de 70 metros aproximadamente.

b) **Facies de margas intercaladas con arcillitas**

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos delgados de margas W con estratos delgados de arcillitas. Las margas presentan contenido de bioclastos y bivalvos (*Ostrea Scyphax*). Las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Esta facie tiene un espesor de 36 metros aproximadamente.

c) **Facies de calizas intercaladas con margas**

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos muy delgados de calizas W con estratos muy delgados de margas W y F (Foto 5).

Las calizas presentan contenido de bioclastos. Las margas presentan alto contenido de bioclasto y bivalvos (*Ostrea Scyphax*). Esta facie tiene un espesor de 30 metros aproximadamente.



Foto 5. Intercalación de calizas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

d) Facie de calizas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos delgados y medianos de calizas W y F con estratos delgados de arcillitas (Foto 6). Las calizas presentan contenido de bioclastos y bivalvos (*Nucula*). Las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Esta facie tiene un espesor de 41 metros aproximadamente.



Foto 6. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

e) Facie de calizas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por una intercalación de estratos delgados y medianos de calizas W y F con estratos muy delgados de margas F (Foto 7). Las calizas presentan alto contenido de bioclastos. Las margas presentan contenido de bivalvos (*Exogyra Mermeli*). Esta facie tiene un espesor de 35 metros aproximadamente.



Foto 7. Intercalación de calizas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

3.4.2.3. Facies Litoestratigráficas del Miembro Superior de la Formación Yumagual

a) Facie de calizas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos delgados y muy delgados de calizas W y F con estratos delgados de arcillitas (Foto 8). Las calizas W presentan contenido de bioclastos. Las calizas F presenta contenido de bioclastos y bivalvos (*Exogyra Mermeli* y *Ostrea Scyphax*). Esta facie tiene un espesor de 61 metros aproximadamente.

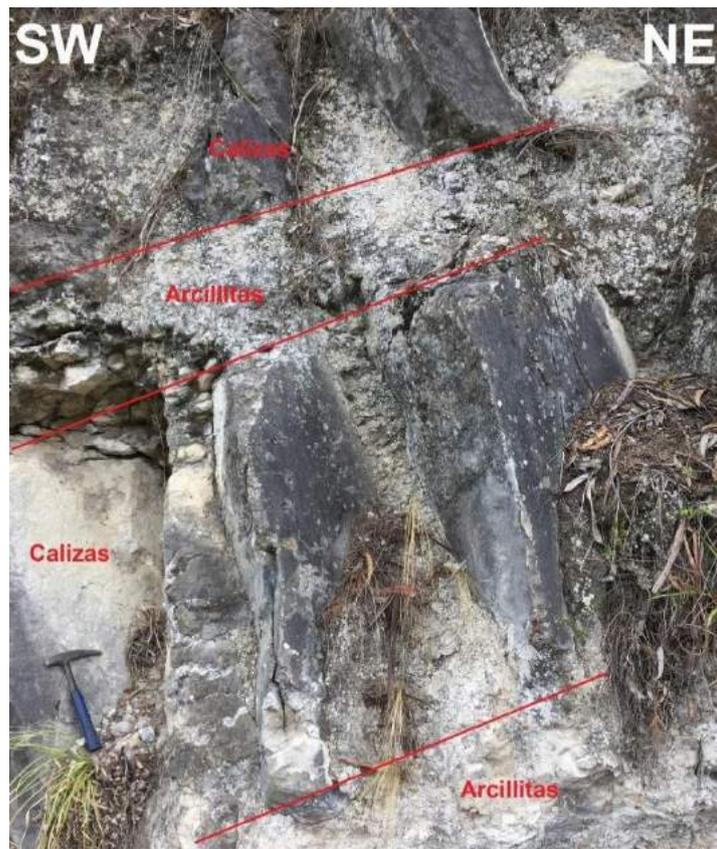


Foto 8. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro superior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

b) Facie de margas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos delgados y muy delgados de margas M, W, F y R con estratos delgados de arcillitas (Foto 9). Las margas M y las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Las margas W presentan bajo contenido de bioclastos. Las margas F y R presentan alto

contenido de bioclastos y bivalvos (*Exogyra Mermeli* y *Ostrea Scyphax*). En la base de esta facie se encuentran bioturbaciones con presencia de *Thalassinoides*. Esta facie tiene un espesor de 64 metros aproximadamente.

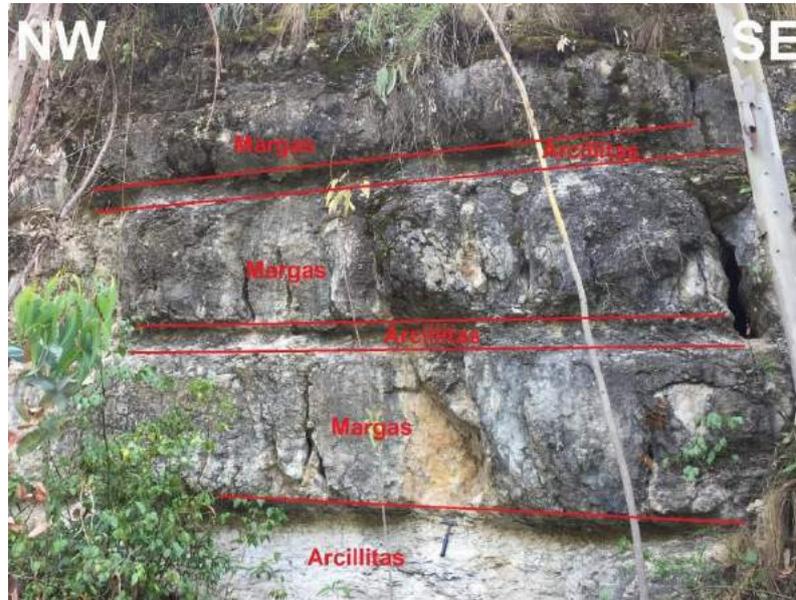


Foto 9. Intercalación de margas con arcillitas del miembro superior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

c) Facie de calizas y calizas nodulares intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por estratos gruesos de calizas F (Foto 10) y estratos delgados de calizas nodulares W intercaladas con estratos muy delgados de margas F. Las calizas presentan gran espesor y tienen alto contenido de bioclastos. Las calizas nodulares presentan contenido de bioclastos y las margas alto contenido de bivalvos (*Exogyra Mermeli*). Se encuentra estratificación lenticular en la parte superior de esta facie. Esta facie tiene un espesor de 66 metros aproximadamente.

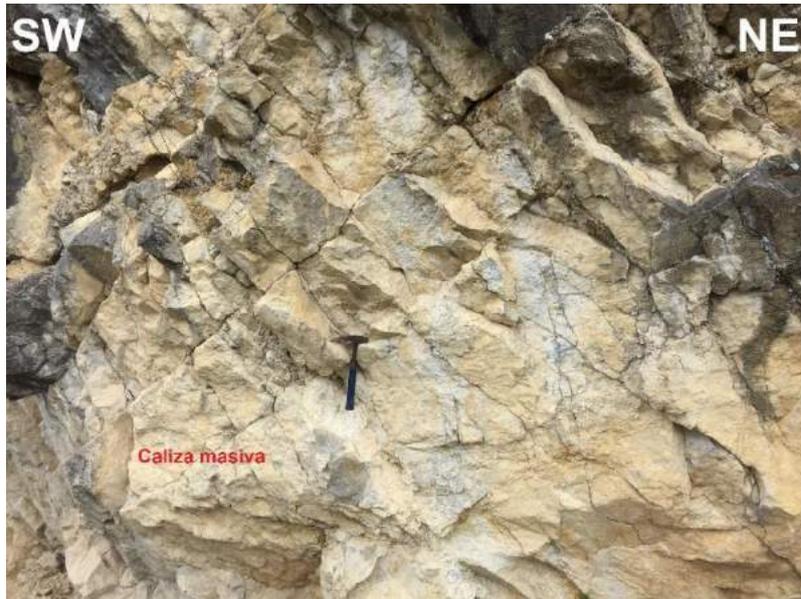


Foto 10. Calizas masivas de gran espesor del miembro superior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

d) Facie de margas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por estratos muy delgados de margas M con estratos delgados de arcillitas.

Las margas y las arcillitas no presentan contenido fosilífero.

Esta facie tiene un espesor de 30 metros aproximadamente.

e) Facie de calizas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por estratos medianos y delgados de calizas W con estratos delgados de margas F (Foto 11). Las calizas presentan bajo contenido de bioclastos y bivalvos (*Exogyra Mermeli*), por otro lado, las margas presentan alto contenido de bioclastos y bivalvos (*Ostrea Scyphax*). Esta facie tiene un espesor de 82 metros aproximadamente.



Foto 11. Intercalación de calizas con margas del miembro superior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

3.4.3. LITOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL DISTRITO DE MATARA

En la zona de Matara, los afloramientos de la Fm. Yumagual se encuentran en una quebrada (Qda. S/N (N9194952 – E801332)) y en corte de carretera.

3.4.3.1. Facies Litoestratigráficas del Miembro Inferior de la Formación Yumagual

a) Facie de calizas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por una intercalación de estratos delgados de calizas M y W con estratos muy delgados de margas F (Foto 12). Las calizas presentan bajo contenido de bioclastos. Las margas presentan gran contenido de bioclastos, gasterópodos (*Tylostoma*) y bivalvos (*Nucula*). Esta facie tiene un espesor de 55 metros aproximadamente.

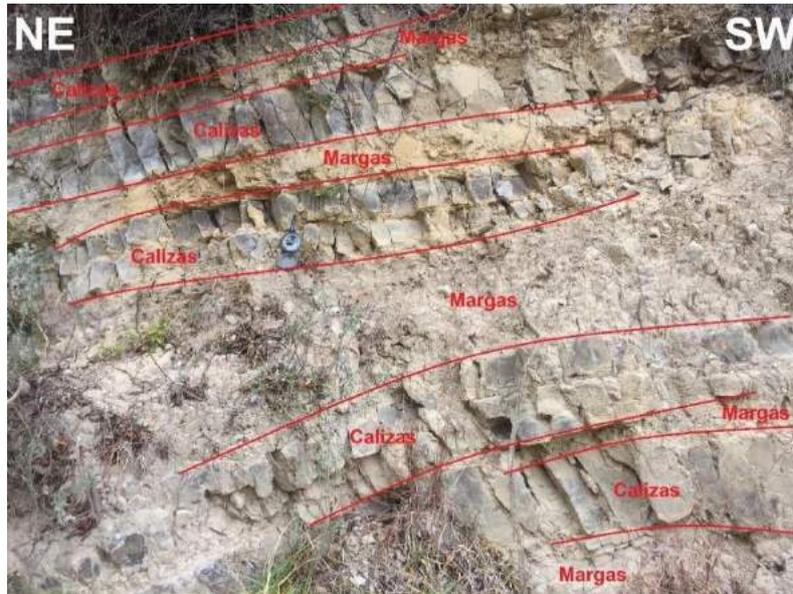


Foto 12. Intercalación de calizas con margas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.

b) Facie de calizas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por una intercalación de estratos muy delgados de calizas W y F con estratos delgados de arcillitas (Foto 13). Las calizas tienen gran contenido de bioclastos y cefalópodos (*Oxytropidoceras carbonarium* y *Tissotia* sp.). Las arcillitas no tienen contenido fosilífero. Esta facie tiene un espesor de 61 metros aproximadamente.



Foto 13. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.

c) Facie de calizas nodulares intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por una intercalación de estratos muy delgados de calizas nodulares W y F con estratos muy delgados de margas M y F (Foto 14). Las calizas nodulares W presentan bajo contenido de bioclastos, por otro lado, las calizas nodulares F presentan un alto contenido de bioclastos y cefalópodos (Ceratites Nodosus). Las margas M no tienen contenido fosilífero, mientras que, las margas F tienen gran contenido de bioclastos. Las calizas nodulares presentan estratificación lenticular como estructura sedimentaria. En medio de esta facie se encontraron estratos muy delgados de chert en la parte media del miembro inferior, con un espesor de 3 metros aproximadamente (Foto 15). Esta facie tiene un espesor de 48 metros aproximadamente.

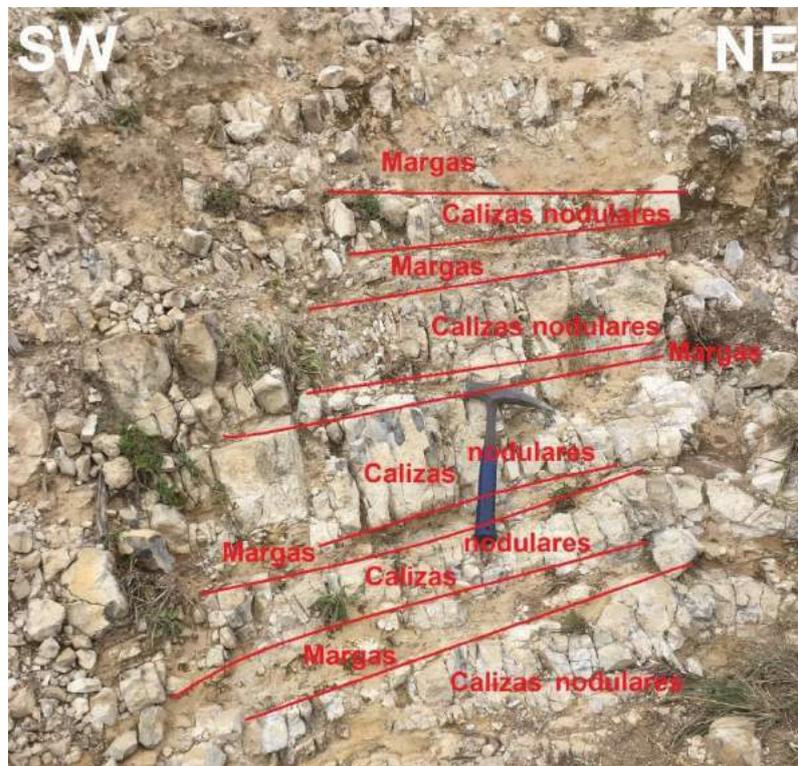


Foto 14. Intercalación de calizas nodulares con margas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.

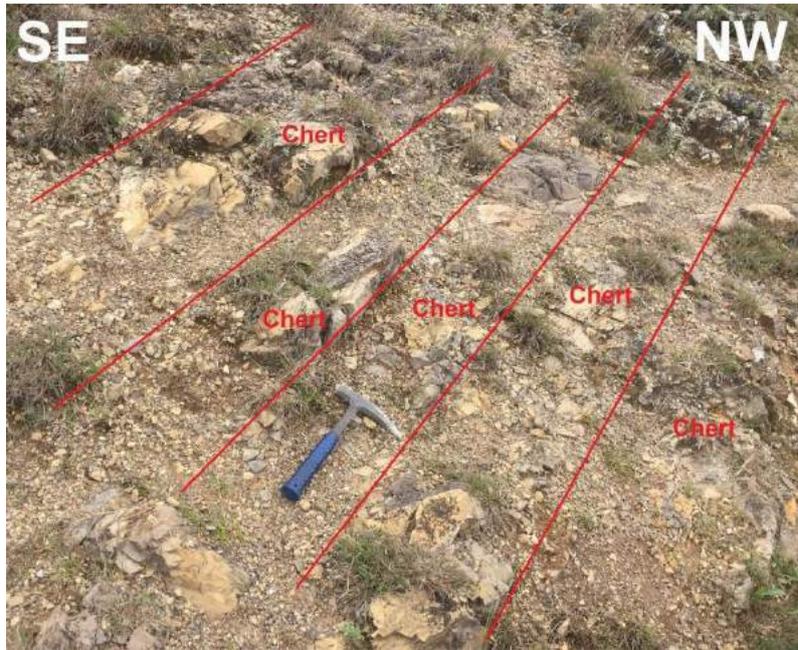


Foto 15. Afloramiento de chert en la parte media del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.

3.4.3.2. Facies Litoestratigráficas del Miembro Medio de la Formación Yumagual

a) Facie de margas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos muy delgados de margas M y F con estratos delgados de arcillitas. Las margas M y las arcillitas no presentan contenido fosilífero, por otro lado, las margas F presentan alto contenido de bioclastos. Esta facie tiene un espesor de 89 metros aproximadamente.

b) Facie de calizas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos medianos de calizas R con estratos delgados de margas F. Las calizas y las margas presentan bioclastos y gran contenido de bivalvos (*Ostrea Scyphax* y *Exogyra Mermeli*). Esta facie tiene un espesor de 55 metros aproximadamente.

3.4.3.3. Facies Litoestratigráficas del Miembro Superior de la Formación Yumagual

a) Facie de calizas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por una intercalación de estratos medianos de calizas M, W y R con estratos delgados de arcillitas (Foto 16). Las calizas M y las arcillitas no presentan contenido fosilífero, las calizas W presentan bajo contenido de bioclastos, y las calizas R presenta alto contenido de bioclastos y bivalvos (*Ostrea Scyphax*). Esta facie tiene un espesor de 45 metros aproximadamente.



Foto 16. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.

b) Facie de arcillitas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por una intercalación de estratos delgados de arcillitas con estratos muy delgados y delgados de margas F (Foto 17). Las margas presentan alto contenido de bioclastos y bivalvos (*Ostrea Scyphax* y *Exogyra Mermeli*). Las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Esta facie tiene un espesor de 97 metros aproximadamente.

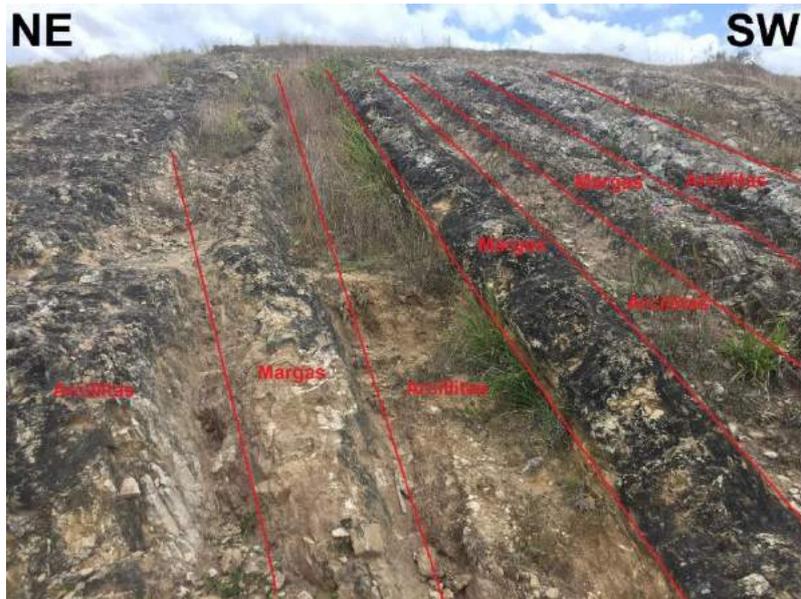


Foto 17. Intercalación de margas con arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de Matara.

c) Facie de calizas nodulares y calizas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por estratos delgados de calizas nodulares M en la parte inferior y estratos muy delgados y medianos de calizas W en la parte media y superior respectivamente. Las calizas nodulares no presentan contenido fosilífero, pero presentan estructuras de carga. Las calizas presentan contenido de bioclastos y bivalvos (*Ostrea Scyphax* y *Exogyra Mermeli*).

Esta facie tiene un espesor de 64 metros aproximadamente.

3.4.4. LITOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LA PROVINCIA DE SAN MARCOS

En la zona de San Marcos, los afloramientos de la Fm. Yumagual se encuentran en corte de carretera y en dos quebradas (Qda. Cajón (N9196052 – E813797) y Qda. Muyoc (N9196418 – E814580)).



Foto 18. Contacto entre la Formación Pariatambo y la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

3.4.4.1. Facies Litoestratigráficas del Miembro Inferior de la Formación Yumagual

a) Facie de calizas nodulares intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por la intercalación de estratos medianos y delgados de calizas nodulares W y F con estratos muy delgados de margas M (Foto 19). Las calizas nodulares presentan contenido de bioclastos, bivalvos (*Nucula*), gasterópodos (*Tylostoma*) y cefalópodos (*Ceratites*). Por otro lado, las margas no presentan contenido fosilífero.

Esta facie tiene un espesor de 67 metros aproximadamente.



Foto 19. Afloramiento de calizas nodulares del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

b) Facie de calizas nodulares intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por la intercalación de estratos delgados de arcillitas con estratos medianos delgados de calizas nodulares W y F (Foto 20). Las calizas nodulares presentan alto contenido de bioclastos. Las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Esta facie tiene un espesor de 42 metros aproximadamente.

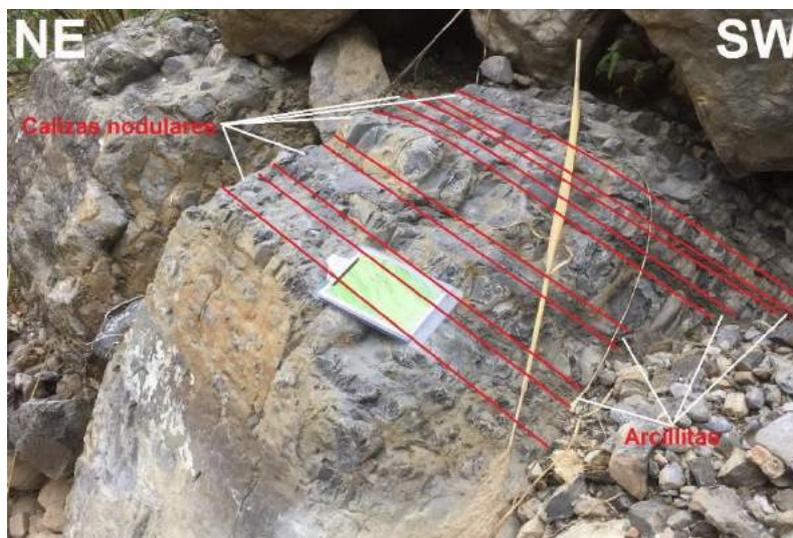


Foto 20. Intercalación de calizas nodulares con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

c) Facie de calizas nodulares intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por la intercalación de estratos delgados y medianos de calizas nodulares F y R con estratos delgados de margas W. Las calizas nodulares presentan alto contenido de bioclastos y bivalvos (Nucula). Las margas presentan bajo contenido de gasterópodos (Tylostoma). En la parte superior de esta facie se encuentran estratos muy delgados de chert con un espesor de 6 metros aproximadamente. Esta facie tiene un espesor de 42 metros aproximadamente.

d) Facie de calizas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por la intercalación de estratos muy delgados de calizas W y F con estratos muy delgados de margas R(Foto 21). Las calizas presentan contenido de bioclastos y bivalvos (Nucula). Las margas presentan alto contenido de bioclastos y bioturbaciones (Thalassinoides). Esta facie tiene un espesor de 45 metros aproximadamente.



Foto 21. Intercalación de calizas con margas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

3.4.4.2. Facies Litoestratigráficas del Miembro Medio de la Formación Yumagual

a) Facie de calizas intercaladas con arcillitas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por la intercalación de estratos delgados de calizas M con estratos delgados de arcillitas (Foto 22). Las calizas y las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Las calizas presentan estratificación lenticular. Esta facie tiene un espesor de 39 metros aproximadamente.

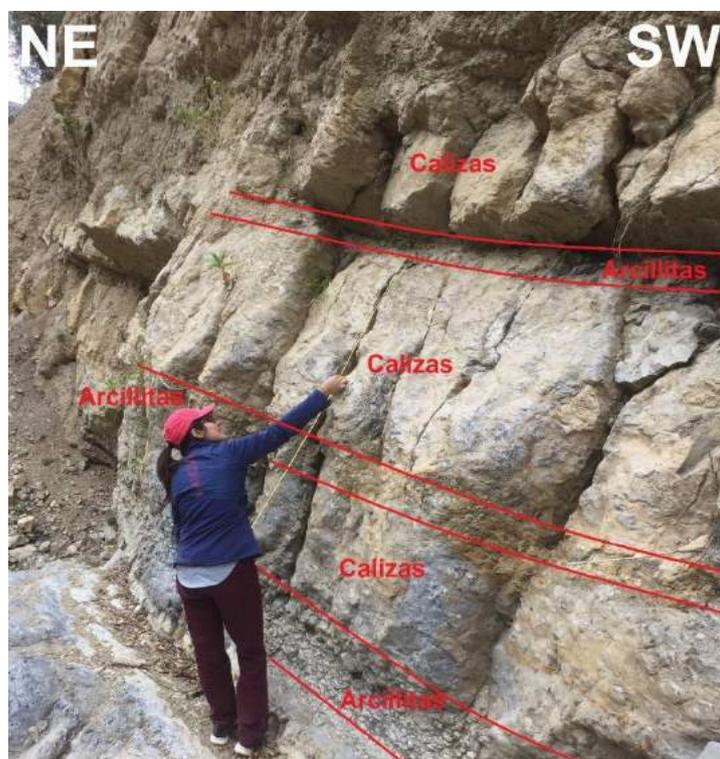


Foto 22. Intercalación de calizas con arcillitas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

b) Facie de calizas intercaladas con margas y arcillitas

Esta facie es de secuencia directa y se caracteriza por la intercalación de estratos delgados y medianos de calizas W y R con estratos delgados de margas M y F, y estratos delgados de arcillitas (Foto 23). Las calizas presentan alto contenido de bioclastos y bivalvos (*Ostrea Scyphax*). Las margas F presentan alto contenido de bioclastos y bivalvos (*Ostrea Scyphax* y *Nucula*). Las arcillitas y las margas M no presentan contenido fosilífero. En la parte superior de esta facie se encuentran estructuras de carga.

Esta facie tiene un espesor de 127 metros aproximadamente.



Foto 23. Intercalación de calizas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

3.4.4.3. Facies Litoestratigráficas del Miembro Superior de la Formación Yumagual

a) Facie de arcillitas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por la intercalación de estratos delgados de arcillitas con estratos medianos de margas M (Foto 24). Las calizas y las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Esta facie tiene un espesor de 45 metros aproximadamente.



Foto 24. Intercalación de arcillitas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

b) Facie de calizas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por la intercalación de estratos muy delgados y delgados de calizas M con estratos delgados de margas W (Foto 25). Las calizas no presentan contenido fosilífero. Las margas presentan bajo contenido de bioclastos. Esta facie tiene un espesor de 42 metros aproximadamente.

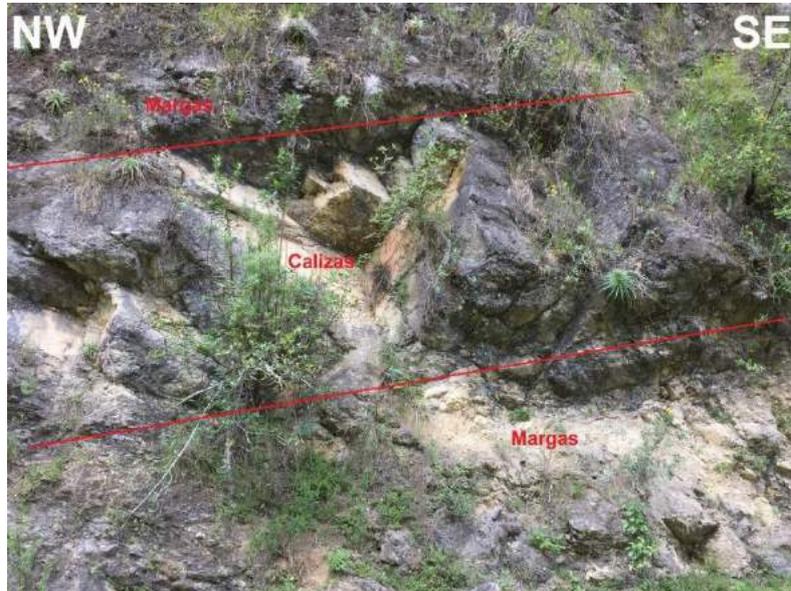


Foto 25. Intercalación de calizas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

c) Facies de arcillitas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por la intercalación de estratos delgados de arcillitas con estratos muy delgados y medianos de margas W y F (Foto 26). Las margas presentan alto contenido de bioclastos y bivalvos (Exogyra Mermeli y Pecten). Las arcillitas no presentan contenido fosilífero. Esta facie tiene un espesor de 67 metros aproximadamente.



Foto 26. Intercalación de margas con arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

d) Facie de calizas intercaladas con margas

Esta facie es de secuencia inversa y se caracteriza por la intercalación de estratos delgados y medianos de calizas W con estratos delgados de margas F. Las calizas presentan bajo contenido de bioclastos. Las margas presentan alto contenido de bivalvos (*Exogyra Mermeli*). Esta facie tiene un espesor de 91 metros aproximadamente.

3.5. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Las estructuras sedimentarias encontradas en las zonas de estudio de Otuzco, San Marcos y Matara de la Fm. Yumagual se describen a continuación:

3.5.1. ESTRUCTURAS DE CARGA

Las estructuras de carga pertenecen a las estructuras de deformación, son protuberancias irregulares que sobresalen del muro del estrato, que se forman después de la sedimentación por el peso de sedimentos más densos sobre otros menos densos. Estas estructuras se encontraron en las tres zonas de estudio, en los tres miembros de la Fm. Yumagual (Foto 27).



Foto 27. Estructura de carga en la intercalación de calizas con margas del miembro medio de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

3.5.2. ESTRATIFICACIÓN LENTICULAR

Son lentes de roca en una matriz de arcilla; se debe a condiciones variables en forma cíclica tanto del régimen hidráulico como del aporte de estos dos materiales. Estas estructuras se encuentran en las tres zonas de estudio, en donde estos lentes no se encuentran conectados entre sí y se presentan en los tres miembros de la Fm. Yumagual (Foto 28).

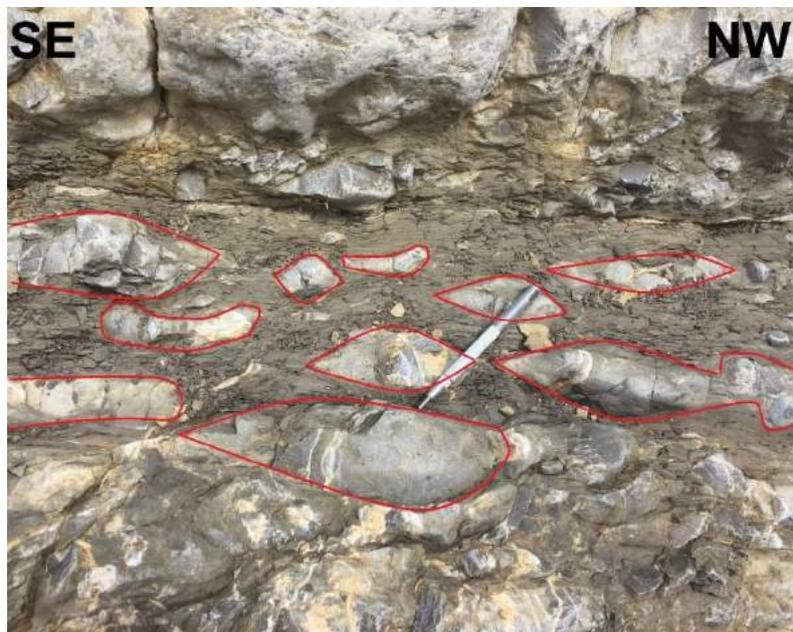


Foto 28. Estratificación lenticular en la intercalación de calizas nodulares con margas del miembro superior de la Fm. Yumagual en la zona de Otuzco.

3.5.3. BIOTURBACIÓN

La bioturbación es una estructura irregular, que corta o perturba la estratificación y que se debe a la acción de organismos excavadores. Estas estructuras se encuentran solo en dos zonas de estudio, Otuzco y San Marcos, en los miembros superior e inferior respectivamente (Foto 29).



Foto 29. Bioturbación encontrada en margas del miembro inferior de la Fm. Yumagual en la zona de San Marcos.

3.6. CLASIFICACIÓN PETROLÓGICA

Para realizar la clasificación petrológica se utilizaron las clasificaciones para rocas sedimentarias carbonatadas de Dunham (1962) (Figura 10), Folk (1962) (Figura 11) y Embry y Klovan (1971) (Figura 12); y la clasificación para rocas sedimentarias detríticas de Terruggi (1982) (Figura 13).

3.6.1. CLASIFICACIÓN PETROLÓGICA DE OTUZCO

En la zona de Otuzco se clasificaron las siguientes muestras de rocas:

Tabla 9. Clasificación petrológica de caliza R del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Medio	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 01	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Esparítica	Caliza Packstone	Caliza Rudstone	

Tabla 10. Clasificación petrológica de caliza F del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Superior	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 02	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Micrítica	Caliza Wackestone	Caliza Floatstone	

Tabla 11. Clasificación petrológica de caliza W del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Inferior	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 03	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (< 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Micrítica	Caliza Wackestone		

Tabla 12. Clasificación petrológica de caliza M del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Medio	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 04	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	No		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Micrítica	Caliza Mudstone		

Tabla 13. Clasificación petrológica de marga R del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g4	San Marcos	Yumagual - Miembro Superior	Detrítica – Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 05	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Marga Esparítica	Marga Packstone	Marga Rudstone	

Tabla 14. Clasificación petrológica de marga F del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g4	San Marcos	Yumagual - Miembro Medio	Detrítica – Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 06	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Marga Micrítica	Marga Wackestone	Marga Floatstone	

Tabla 15. Clasificación petrológica de marga M del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g4	San Marcos	Yumagual - Miembro Inferior	Detrítica – Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 07	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	No		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Marga Micrítica	Marga Mudstone		

Tabla 16. Clasificación petrológica de arcillita del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g4	San Marcos	Yumagual - Miembro Superior	Detrítica
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 08	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	2		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	No		
Reacción con HCl	No		
CLASIFICACIÓN			
Según Teruggi (1982)			
Arcillita			

3.6.2. CLASIFICACIÓN PETROLÓGICA DE MATARA

En la zona de Matara se clasificaron las siguientes muestras de rocas:

Tabla 17. Clasificación petrológica de caliza R del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g3	Matara	Yumagual – Miembro Medio	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 09	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Esparítica	Caliza Packstone	Caliza Rudstone	

Tabla 18. Clasificación petrológica de caliza F del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g3	Matara	Yumagual – Miembro Inferior	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 10	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Margosa Micrítica	Caliza Wackestone	Caliza Floatstone	

Tabla 19. Clasificación petrológica de caliza W del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Medio	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 11	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (< 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Micrítica	Caliza Wackestone		

Tabla 20. Clasificación petrológica de caliza M del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g3	Matara	Yumagual - Miembro Superior	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 12	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	No		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Micrítica	Caliza Mudstone		

Tabla 21. Clasificación petrológica de marga F del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g4	San Marcos	Yumagual - Miembro Medio	Detrítica – Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 13	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Marga Micrítica	Marga Wackestone	Marga Floatstone	

Tabla 22. Clasificación petrológica de marga M del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual - Miembro Inferior	Detrítica – Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 10	
Color superficie intemperizada	Negro pardusco		
Color superficie fresca	Negro		
Brillo	Opaco		
Dureza	3		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	No		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Marga Micrítica	Marga Mudstone		

Tabla 23. Clasificación petrológica de arcillita del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g3	San Marcos	Yumagual – Miembro Medio	Detrítica
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 14	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	2		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	No		
Reacción con HCl	No		
CLASIFICACIÓN			
Según Teruggi (1982)			
Arcillita			

3.6.3. CLASIFICACIÓN PETROLÓGICA DE SAN MARCOS

En la zona de San Marcos se clasificaron las siguientes muestras de rocas:

Tabla 24. Clasificación petrológica de caliza R del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual – Miembro Medio	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 15	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Esparítica	Caliza Packstone	Caliza Rudstone	

Tabla 25. Clasificación petrológica de caliza F del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual - Miembro Inferior	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 16	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Margosa Esparítica	Caliza Margosa Wackestone	Caliza Margosa Floatstone	

Tabla 26. Clasificación petrológica de caliza W del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual – Miembro Superior	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 17	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (< 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Micrítica	Caliza Wackestone		

Tabla 27. Clasificación petrológica de caliza M del Miembro Superior de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual – Miembro Superior	Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 18	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3 – 4		
Raya	Blanca		
Fractura	Concoidea		
Presencia de bioclastos o fósiles	No		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Caliza Micrítica	Caliza Mudstone		

Tabla 28. Clasificación petrológica de margas R del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual - Miembro Inferior	Detrítica – Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 19	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Marga Esparítica	Marga Packstone	Marga Rudstone	

Tabla 29. Clasificación petrológica de marga F del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual – Miembro Medio	Detrítica – Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 20	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	Si (> 2mm)		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Marga Micrítica	Marga Wackestone	Marga Floatstone	

Tabla 30. Clasificación petrológica de marga M del Miembro Inferior de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual - Miembro Inferior	Detrítica- Química
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 21	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	No		
Reacción con HCl	Si		
CLASIFICACIÓN			
Según Folk (1962)	Según Dunham (1962)	Según Embry y Klovan (1971)	
Marga Micrítica	Marga Mudstone		

Tabla 31. Clasificación petrológica de arcillita del Miembro Medio de la Fm. Yumagual de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	Tipo de roca
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual - Miembro Medio	Detrítica
CARACTERÍSTICAS		FOTO: M – 22	
Color superficie intemperizada	Gris pardusco		
Color superficie fresca	Gris		
Brillo	Opaco		
Dureza	3		
Raya	Blanca		
Fractura	Irregular		
Presencia de bioclastos o fósiles	No		
Reacción con HCl	No		
CLASIFICACIÓN			
Según Teruggi (1982)			
Arcillita			

3.7. CLASIFICACIÓN PALEONTOLÓGICA

Para realizar la clasificación paleontológica se utilizarán los formatos de clasificaciones paleontológicas del INGEMMET, Lelis (2014) y Navarro (2014); y la clasificación taxonómica de fósiles según Linneo (1758).

Los fósiles encontrados son moluscos como: bivalvos, gasterópodos y cefalópodos, así también se encontraron icnofósiles, que se describirán posteriormente de acuerdo a la zona de investigación.

3.7.1. CLASIFICACIÓN PALEONTOLÓGICA DE OTUZCO

En la zona de Otuzco se clasificaron las siguientes muestras de fósiles:

Tabla 32. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Medio	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	3.5 cm	3 cm	1.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M - 01	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Nuculoidea		
Familia	Nuculidae		
Género	Nucula		
Especie	Pectinata		
Edad	Coniaciano		

Tabla 33. Clasificación paleontológica del fósil Pecten de la zona de Otuzco.

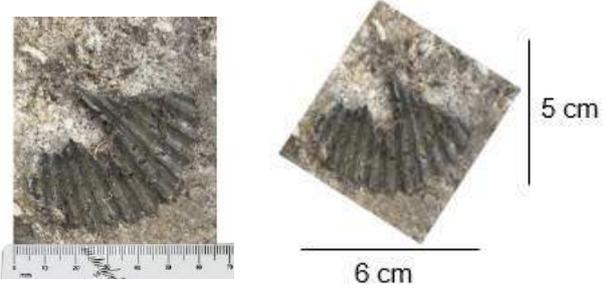
GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Medio	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	6 cm	5 cm	1 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M - 02	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Pterioideos		
Familia	Pectinidae		
Género	Pecten		
Edad	Coniaciano		

Tabla 34. Clasificación paleontológica del fósil Exogyra Mermeli de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Superior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	5.5 cm	7 cm	3.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M - 03	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Disodontida		
Familia	Gryphaeidae		
Género	Exogyra		
Especie	Mermeli		
Edad	Cenomaniano		

Tabla 35. Clasificación paleontológica del fósil Ostrea Scyphax de la zona de Otuzco.

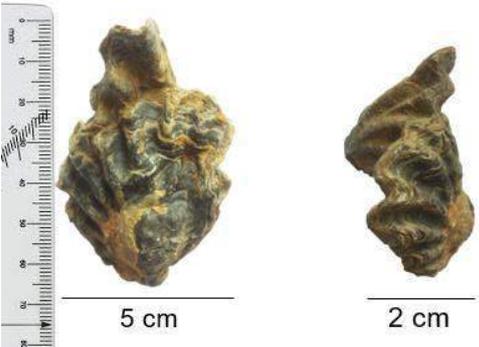
GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Superior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	5 cm	6.5 cm	2 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M - 04	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Ostreoidae		
Familia	Ostreidae		
Género	Ostrea		
Especie	Scyphax		
Edad	Coniaciano – Santoniano		

Tabla 36. Clasificación paleontológica del fósil Tylostoma de la zona de Otuzco.

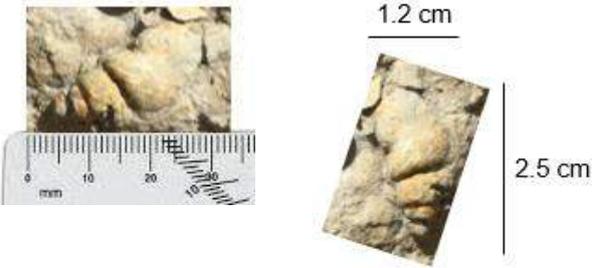
GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Medio	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	1.2 cm	2.5 cm	1 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M - 05	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Gasteropoda		
Orden	Sorbeoconcha		
Familia	Tylostomatidae		
Género	Tylostoma		
Edad	Coniaciano		

Tabla 37. Clasificación paleontológica del fósil Thalassinoide de la zona de Otuzco.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g4	Otuzco	Yumagual - Miembro Medio	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	1.5 cm	6 cm	1.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M - 06	
<p> Iconogénero Thalassinoide sp </p>			

3.7.2. CLASIFICACIÓN PALEONTOLÓGICA DE MATARA

En la zona de Matara se clasificaron las siguientes muestras de fósiles:

Tabla 38. Clasificación paleontológica del fósil *Nucula Pectinata* de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g3	Matara	Yumagual - Miembro Medio	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	3 cm	2.5 cm	1.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M – 07	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Nuculoidea		
Familia	Nuculidae		
Género	Nucula		
Especie	Pectinata		
Edad	Coniaciano		

Tabla 39. Clasificación paleontológica del fósil *Ostrea Scyphax* de la zona de Matara.

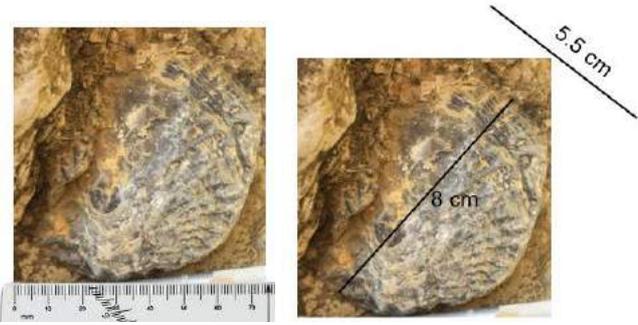
GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g3	Matara	Yumagual - Miembro Superior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	5.5 cm	8 cm	1.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M – 08	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Ostreoidae		
Familia	Ostreidae		
Género	Ostrea		
Especie	Scyphax		
Edad	Coniaciano – Santoniano		

Tabla 40. Clasificación paleontológica del fósil Exogyra Mermeli de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g3	Matara	Yumagual – Miembro Superior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	2.5 cm	4 cm	2 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M – 09	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Disodontida		
Familia	Gryphaeidae		
Género	Exogyra		
Especie	Mermeli		
Edad	Cenomaniano		

Tabla 41. Clasificación paleontológica del fósil Tylostoma de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g3	Matara	Yumagual - Miembro Medio	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	2 cm	3 cm	1.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M – 10	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Gasteropoda		
Orden	Sorbeoconcha		
Familia	Tylostomatidae		
Género	Tylostoma		
Edad	Coniaciano		

Tabla 42. Clasificación paleontológica del fósil *Oxytropidoceras Carbonarium* de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g3	Matara	Yumagual - Miembro Inferior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	2.5 cm	2.5 cm	0.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M - 11	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Cephalopoda		
Orden	Ammonoidea		
Familia	Brancoceratidae		
Género	Oxytropidoceras		
Especie	Carbonarium		
Edad	Santoniano		

Tabla 43. Clasificación paleontológica del fósil *Tissotia* sp. de la zona de Matara.

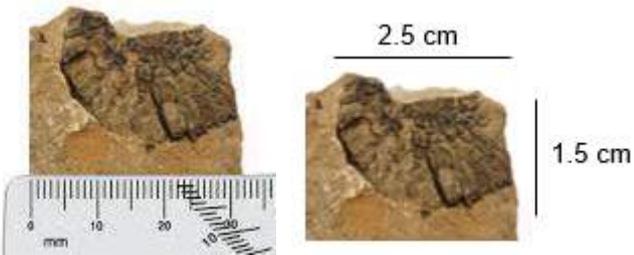
GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g3	Matara	Yumagual - Miembro Inferior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	2.5 cm	1.5 cm	0.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M - 12	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Cephalopoda		
Orden	Ammonoidea		
Familia	Ceratitidae		
Género	<i>Tissotia</i> sp.		
Edad	Santoniano		

Tabla 44. Clasificación paleontológica del fósil Ceratites Nodosus de la zona de Matara.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g3	Matara	Yumagual - Miembro Inferior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	5 cm	5 cm	2 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M - 13	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Cephalopoda		
Orden	Ammonoidea		
Familia	Ceratitidae		
Género	Ceratites		
Especie	Nodosus		
Edad	Coniaciano		

3.7.3. CLASIFICACIÓN PALEONTOLÓGICA DE SAN MARCOS

En la zona de San Marcos se clasificaron las siguientes muestras de fósiles:

Tabla 45. Clasificación paleontológica del fósil Nucula Pectinata de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual - Miembro Medio	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	3.5 cm	3 cm	2 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M - 14	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Nuculoidea		
Familia	Nuculidae		
Género	Nucula		
Especie	Pectinata		
Edad	Coniaciano		

Tabla 46. Clasificación paleontológica del fósil Pecten de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual – Miembro Medio	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Longitud	Tamaño	
		Altura	Espesor
Gris pardusco	7 cm	6.5 cm	2 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M – 15	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Pterioideos		
Familia	Pectinidae		
Género	Pecten		
Edad	Coniaciano		

Tabla 47. Clasificación paleontológica del fósil Ostrea Scyphax de la zona de San Marcos.

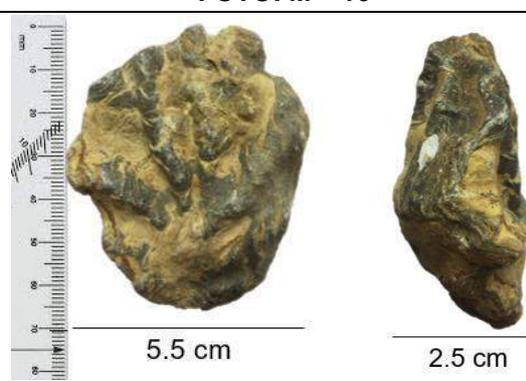
GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual - Miembro Superior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Longitud	Tamaño	
		Altura	Espesor
Gris pardusco	5.5 cm	6.5 cm	2.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M – 16	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Ostreoidae		
Familia	Ostreidae		
Género	Ostrea		
Especie	Scyphax		
Edad	Coniaciano – Santoniano		

Tabla 48. Clasificación paleontológica del fósil Exogyra Mermeli de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual - Miembro Superior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Longitud	Tamaño	
		Altura	Espesor
Gris pardusco	5 cm	6 cm	4 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M – 17	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Bivalvia		
Orden	Disodontida		
Familia	Gryphaeidae		
Género	Exogyra		
Especie	Mermeli		
Edad	Cenomaniano		

Tabla 49. Clasificación paleontológica del fósil Tylostoma de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual - Miembro Inferior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Longitud	Tamaño	
		Altura	Espesor
Gris pardusco	1.5 cm	3 cm	1.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M – 18	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Gasteropoda		
Orden	Sorbeoconcha		
Familia	Tylostomatidae		
Género	Tylostoma		
Edad	Coniaciano		

Tabla 50. Clasificación paleontológica del fósil Ceratites de la zona de San Marcos.

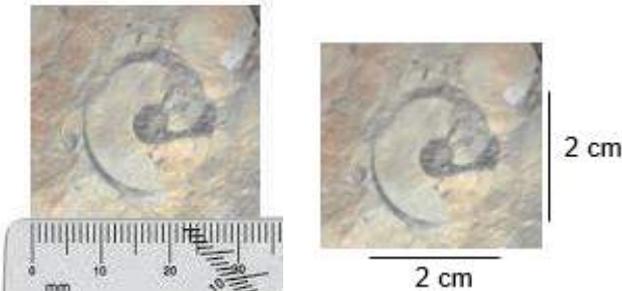
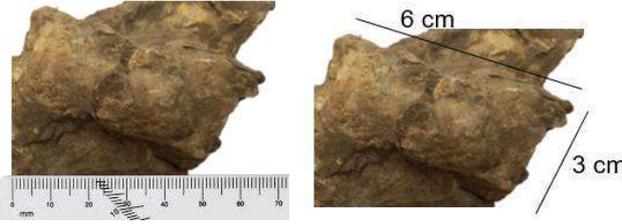
GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual - Miembro Inferior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	2 cm	2 cm	0 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M – 19	
Reino	Animalia		
Phyllum	Mollusca		
Clase	Cephalopoda		
Orden	Ammonoidea		
Familia	Ceratitidae		
Género	Ceratites		
Edad	Coniciano		

Tabla 51. Clasificación paleontológica del fósil Thalassinoide de la zona de San Marcos.

GENERALIDADES			
Carta	Zona	Formación	
15-g1 y 15-g2	San Marcos	Yumagual – Miembro Inferior	
CARACTERÍSTICAS			
Color	Tamaño		
	Longitud	Altura	Espesor
Gris pardusco	3 cm	6 cm	1.5 cm
CLASIFICACIÓN		FOTO: M – 20	
Iconogénero Thalassinoide sp			

3.8. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Las salidas a campo en las zonas de estudio de Otuzco, Matara y San Marcos, permitieron obtener datos sobre la litología (calizas, calizas nodulares, margas y arcillitas principalmente), textura (de M a R) y secuencias (directa e inversa) en cada miembro de la Fm. Yumagual.

Estos datos fueron analizados y utilizados para realizar el levantamiento de tres columnas litoestratigráficas, en las cuales se identificaron diferente facies de acuerdo al tipo de litología, para poder comprender el ambiente de depositación de la Fm. Yumagual en las zonas de Otuzco, Matara y San Marcos ubicadas a 10.5 km, 49 km y 84 km de la ciudad de Cajamarca, respectivamente.

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 52, en la que se describen los espesores, la litología, las texturas y las facies de los tres miembros la Fm. Yumagual en las zonas de Otuzco, Matara y San Marcos.

Tabla 52. Resultados de la litología, textura y facies del miembro inferior, medio y superior de las zonas de Otuzco, Matara y San Marcos.

UNIDAD	MIEMBRO	ZONAS DE ESTUDIO											
		OTUZCO				MATARA				SAN MARCOS			
		Espesor	Litología	Textura	Facies	Espesor	Litología	Textura	Facie	Espesor	Litología	Textura	Facie
Formación Yumagual	Superior	303 m	Calizas	Wackestone Floatstone	Calizas intercaladas con margas	206 m	Calizas	Mudstone Wackestone Rudstone	Calizas nodulares y calizas	245 m	Calizas	Mudstone Wackestone Rudstone	Calizas intercaladas con margas
			Calizas nodulares	Wackestone	Margas intercaladas con arcillitas		Calizas nodulares	Mudstone	Arcillitas intercaladas con margas		Calizas nodulares	Mudstone	Arcillitas intercaladas con margas
			Margas	Mudstone Wackestone Floatstone Rudstone	Calizas y calizas nodulares intercaladas con margas		Margas	Floatstone	Margas intercaladas con margas		Margas	Floatstone	Calizas intercaladas con margas
				Arcillitas	Margas intercaladas con arcillitas		Arcillitas	Calizas intercaladas con arcillitas	Arcillitas		Calizas intercaladas con arcillitas	Arcillitas	Calizas intercaladas con margas
	Medio	212 m	Calizas	Wackestone Floatstone Rudstone	Calizas intercaladas con margas	144 m	Calizas	Rudstone	Calizas intercaladas con margas	166 m	Calizas	Rudstone	Calizas intercaladas con margas y arcillitas
			Calizas nodulares	Mudstone	Calizas intercaladas con margas		Margas	Mudstone Floatstone	Margas intercaladas con arcillitas		Margas	Mudstone Floatstone	Calizas intercaladas con arcillitas
			Margas	Wackestone Floatstone	Margas intercaladas con arcillitas		Arcillitas	Calizas y calizas nodulares intercaladas con arcillitas y margas	Arcillitas		Calizas intercaladas con arcillitas		
			Arcillitas	Calizas y calizas nodulares intercaladas con arcillitas y margas	Arcillitas		Calizas intercaladas con arcillitas						
	Inferior	103 m	Calizas	Wackestone Floatstone	Calizas intercaladas con margas	164 m	Calizas	Mudstone Wackestone Floatstone	Calizas nodulares intercaladas con margas	196 m	Calizas	Mudstone Wackestone Floatstone	Calizas intercaladas con margas
			Margas	Mudstone	Margas intercaladas con arcillitas		Calizas nodulares	Wackestone Floatstone	Calizas nodulares intercaladas con margas		Calizas nodulares intercaladas con margas		
					Calizas intercaladas con arcillitas		Margas	Mudstone Floatstone	Calizas intercaladas con arcillitas		Calizas nodulares intercaladas con arcillitas		
			Arcillitas	Calizas nodulares intercaladas con arcillitas	Arcillitas		Calizas nodulares intercaladas con margas						

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La Fm. Yumagual pertenece al Albiano Superior y Cenomaniano Inferior.

Esta formación presenta tres miembros (inferior, medio y superior), diferenciados litológicamente en las zonas de estudio de Otuzco, Matara y San Marcos.

El miembro inferior se caracteriza por presentar mayor contenido orgánico en su base a diferencia de los otros dos miembros, debido a que está en contacto con la Fm. Pariatambo. Este miembro presenta intercalación de calizas con margas y calizas con arcillitas en las tres zonas de estudio, pero además la zona de Otuzco también presenta intercalación de margas con arcillitas. Las zonas de Matara y San Marcos son las que presentan mayor espesor (164 m y 196 m respectivamente) en el miembro inferior, mientras que la zona de Otuzco presenta la menor extensión (103 m) en este miembro debido a la erosión.

El miembro medio se caracteriza por presentar banco de margas y arcillitas de gran espesor. Este miembro presenta intercalación de calizas con margas y arcillitas, e intercalación de calizas con arcillitas en Otuzco y San Marcos. Las zonas de Otuzco y Matara presentan intercalación margas con arcillitas, e intercalación de calizas con margas. En las zonas de San Marcos y Otuzco el miembro medio tiene mayor espesor (166 m y 212 m respectivamente), mientras que en la zona de Matara este miembro tiene menor espesor (144 m).

El miembro superior se caracteriza por tener bancos de caliza de gran espesor. Las tres zonas de investigación presentan intercalación de margas con arcillitas. Además, las zonas de Otuzco y Matara presentan intercalación de margas con arcillitas. Las zonas de Otuzco y San Marcos presentan intercalación de calizas con margas. La zona de Otuzco es la que tiene mayor espesor (303 m) en el miembro superior, seguido de la zona de San Marcos (145 m), mientras que la zona de Matara es la que tiene menor espesor (206 m).

4.1.1. ASOCIACIÓN DE FACIES Y AMBIENTE DEPOSITACIONAL

De acuerdo a las facies litológicas encontradas en las zonas de Otuzco, Matara y San Marcos, la Fm. Yumagual pertenece a un ambiente marino nerítico (Figura 15) de plataforma carbonatada (Nichols, 2009) (Figura 14) somera distal (Jacay, 2005). Esta plataforma tiene entornos de rampa media de mar abierto y de rampa interna con aguas poco profundas (Figuras 16 y 17) (Navarro, 2014).

Las texturas fueron un factor muy importante para establecer el ambiente depositacional de las rocas de la Fm. Yumagual.

Las texturas predominantes son W y F, aunque también hay presencia de texturas M y R pero de menor predominancia.

Las facies M y W son producto de una sedimentación tranquila, en ambientes submareales por debajo del nivel de base del oleaje. Las facies F y R indican un nivel hidrodinámico más alto por lo que se le asigna un ambiente de mar somero que estuvo influenciado por la presencia de corrientes y oleaje moderado.

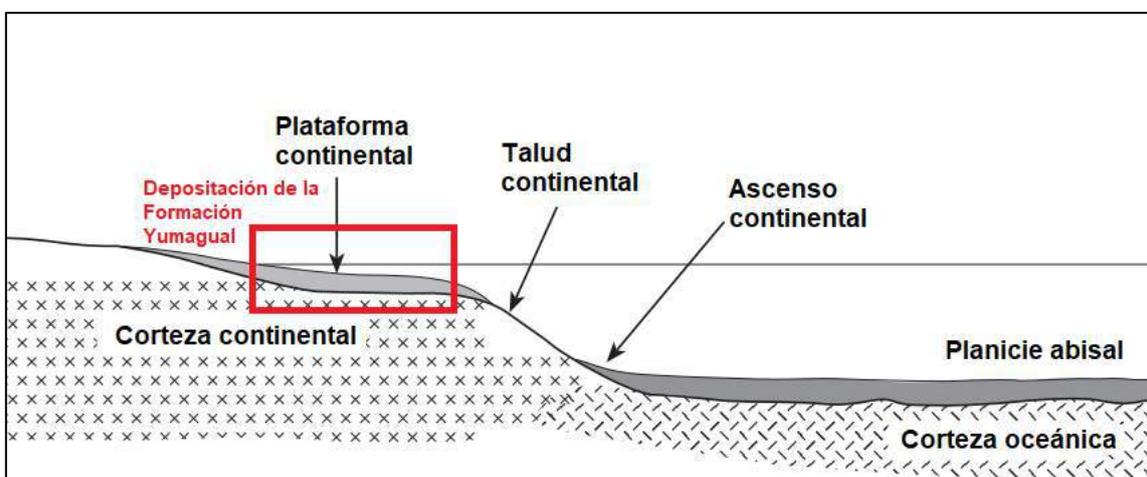


Figura 14. Sección transversal desde la plataforma continental hasta la planicie abisal, en el marco rojo se muestra la plataforma carbonatada somera distal, en donde se depositó la Fm. Yumagual (Modificado de Nichols, 2009).



Figura 15. Divisiones de la plataforma carbonatada relacionadas a la profundidad del mar, en el marco rojo se muestra la zona nerítica en donde se depositó la Fm. Yumagual (Modificado de Nichols, 2009).

4.1.1.1. Rampa interior submareal poco profunda

En la rampa interna submareal poco profunda, los depósitos arcillosos se intercalan con rocas carbonatadas.

El entorno de depósito de la rampa interna submareal poco profunda comprende tres tipos de facies: 1a, 1b y 1c. Los depósitos más proximales están compuestos de lodo arcilloso.

La escasa fauna se presenta como restos de concha de bivalvos principalmente (Facies 1a). En subambientes más distales, los lechos muestran paquetes ascendentes espesos y la facies se caracteriza por texturas M y W con un alto contenido arcilloso. La evidencia de la bioturbación es limitada y las estructuras sedimentarias primarias están bien conservadas.

Hacia entornos marinos más abiertos, las Facie tipo 1b se clasifican en lechos más gruesos. Facies 1c es típicamente abundante en restos de conchas mixtas y fragmentadas, principalmente de bivalvos y gasterópodos. La bioturbación es localmente más intensa.

Las características litológicas y paleontológicas de las facies de rampas submareales internas más altas expuestas en las áreas de estudio respaldan un entorno restringido y de baja energía. La presencia de material arcillosos indica una zona poco profunda.

4.1.1.2. Rampa media de mar abierto

La rampa media de mar abierto se caracteriza principalmente por las biozonas de ostras. Las tormentas erosionaron, arrastraron y volvieron a depositar los restos

de bivalvos (ostreas), lo que resultó en un extenso paquete de ostreas a facies de rocas de textura floatstone y rudstone.

El ambiente rampa media de mar abierto, comprende facies tipo 2a, 2b y 2c. Los depósitos se caracterizan por paquetes de biozonas de bivalvos (ostreas) y diversos elementos esqueléticos. Las ostreas son un elemento faunístico dominante y están asociadas con gasterópodos y ocasionalmente cefalópodos.

Los estratos muestran adelgazamiento y están representadas por bioturbación. Los elementos faunísticos consisten en restos de conchas no especificados (Facies 2c).

En general, las facies de ostreas son testigos de la hidrodinámica de la tormenta que erosionó, atrapó y volvió a depositar biozonas de ostreas que de otro modo se encontraban debajo de la base efectiva de olas, es decir, la profundidad a la que los orbitales de las olas aún son capaces de mover partículas de sedimento.

La presencia de biozonas de bivalvos (ostreas), gasterópodos y cefalópodos indica un entorno marino 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	mar abierto		aguas poco profundas	Entrada de sedimentos	
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 16. Esquema en el que se indica dentro del marco rojo el ambiente de depositación de la Fm. Yumagual (Modificado de Navarro, 2014).

Código de facies	Código de colores	Facies	Textura	Componentes esqueléticos	Ambiente de deposición	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 17. Descripción general de la clasificación e interpretación de facies de la Fm. Yumagual dentro del marco rojo. Los números indican la abundancia relativa de componentes no esqueléticos y esqueléticos: 0 = ausente, 1 = presente, 2 = frecuente, 3 = abundante, 4 = dominante (Modificado de Navarro, 2014).

4.1.2. CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA

Para la elaboración de las correlaciones litoestratigráficas se han tenido en cuenta las facies, secuencia, litología, textura, espesor y estructuras sedimentarias; y las correlaciones trabajadas son:

4.1.2.1. Correlación litoestratigráfica de la Formación Yumagual de Otuzco, San Marcos y Matara (Ver Plano N° 11)

En la correlación litoestratigráfica de Otuzco, San Marcos y Matara, la litología es similar en los tres miembros, teniendo algunas variaciones en los espesores de los estratos, las secuencias sedimentarias y las texturas. Además, en las columnas de San Marcos y Matara se encuentra Chert en la parte media y superior del miembro inferior, respectivamente. Otra diferencia es la extensión de los miembros en cada una de estas zonas. Por ejemplo, en la columna de Otuzco el miembro superior y medio son más extensos que en las columnas de San Marcos y Matara, mientras que el miembro inferior de la columna de San Marcos es más extenso que en las columnas de Otuzco y Matara.

Para realizar la correlación litoestratigráfica de la Fm. Yumagual en las zonas de Otuzco - Matara y Otuzco - San Marcos, se utilizó el Sistema Gráfico de Correlación de Shaw (1994).

Primero se seleccionó como columna de referencia a la columna litoestratigráfica de la zona de Otuzco, por ser la que tiene mayor espesor.

Luego, la sección de Otuzco se correlacionó con la sección de Matara y San Marcos por separado.

4.1.2.2. Correlación litoestratigráfica de Otuzco y Matara – Sistema Gráfico de Shaw (Ver Plano N° 12)

Esta correlación pertenece al tipo C, en el que la columna Y (Otuzco - Ver Plano N° 8) tienen mayor espesor que la columna X (Matara - Ver Plano N° 9).

En la correlación litoestratigráfica de Otuzco y Matara, se puede definir que todos los puntos de intersección que están situados sobre la línea de correlación o cerca de la misma, se consideran isócronas en ambas columnas. Por otro lado, se observa variación entre los espesores, lo que indica que la tasa de sedimentación ha sido diferente, esto debido a la lejanía de estas zonas.

Por lo tanto, las columnas litoestratigráficas de Otuzco y Matara son correlacionables.

4.1.2.3. Correlación litoestratigráfica de Otuzco y San Marcos – Sistema Gráfico de Shaw (Ver Plano N° 13)

Esta correlación pertenece al tipo C, en el que la columna Y (Otuzco - Ver Plano N° 8) tienen mayor espesor que la columna X (San Marcos - Ver Plano N° 10).

En la correlación litoestratigráfica de Otuzco y San Marcos, se puede definir que todos los puntos de intersección que están situados sobre la línea de correlación o cerca de la misma, se consideran isócronas en ambas columnas. Por otro lado, se observa variación entre los espesores, lo que indica que la tasa de sedimentación ha sido diferente, esto debido a la lejanía de estas zonas.

Por lo tanto, las columnas litoestratigráficas de Otuzco y San Marcos son correlacionables.

Para realizar la correlación litoestratigráfica de la Fm. Yumagual en las zonas de San Marcos – Matara, se utilizó el Sistema Gráfico de Correlación de Shaw (1994). Primero se seleccionó como columna de referencia a la columna litoestratigráfica de la zona de San Marcos, por ser la que tiene mayor espesor que la columna de Matara.

Luego, la sección de Otuzco se correlacionó con la sección de Matara y San Marcos por separado.

4.1.2.4. Correlación litoestratigráfica de San Marcos y Matara – Sistema Gráfico de Shaw (Ver Plano N° 14)

Esta correlación pertenece al tipo C, en el que la columna Y (San Marcos - Ver Plano N° 10) tienen mayor espesor que la columna X (Matara - Ver Plano N° 9).

En la correlación litoestratigráfica de San Marcos y Matara, se puede definir que todos los puntos de intersección que están situados sobre la línea de correlación o cerca de la misma, se consideran isócronas en ambas columnas.

Estas dos columnas presentan menos variaciones en los espesores, lo que indica que la tasa de sedimentación ha sido similar, debido a la cercanía de estas dos zonas. Por lo tanto, las columnas litoestratigráficas de San Marcos y Matara son correlacionables.

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La correlación litoestratigráfica de la Fm. Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco está determinada por las características litológicas de las calizas, margas y arcillitas, teniendo en cuenta sus texturas (M, W, R y F); características biológicas, por la presencia fosilífera de bivalvos, gasterópodos, cefalópodos e icnofósiles; el ambiente de depositación es marino nerítico de plataforma carbonatada somera distal con entornos de rampa media de mar abierto a rampa interna de aguas de poca profundidad; estructuras sedimentarias como estratificación lenticular, estructuras de carga y bioturbaciones; tiempo cronoestratigráfico del Albiano Superior al Cenomaniano Inferior en el que se encuentra la Fm. Yumagual; y las facies sedimentarias.

Así también la correlación litoestratigráfica de esta formación está relacionada al cambio del nivel del mar y a la erosión que ha sufrido la estratificación en cada una de las zonas de estudio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se realizó la correlación litoestratigráfica de la Formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco, utilizando el Sistema Gráfico de Shaw, con el que se determinó que las tres zonas de estudio son correlacionables.

Se determinaron las condiciones de depositación de la Formación Yumagual mediante la litología, textura y presencia fosilífera de esta formación, llegando a la conclusión que 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.

Se determinaron los espesores de la Formación Yumagual. El espesor de la Formación Yumagual en Otuzco es de 618 m (Miembro Superior: 303 m, Miembro Medio: 212 m, Miembro Inferior: 103 m). El espesor de la Formación Yumagual en Matara es de 514 m (Miembro Superior: 206 m, Miembro Medio: 144 m, Miembro Inferior: 164 m). El espesor de la Formación Yumagual en San Marcos es de 607 m (Miembro Superior: 245 m, Miembro Medio: 166 m, Miembro Inferior: 196 m).

Se elaboraron tres columnas litoestratigráficas de la Formación Yumagual en las zonas de Otuzco, Matara y San Marcos; en donde se identificaron y describieron facies sedimentarias como calizas o calizas nodulares intercaladas con margas, calizas o calizas nodulares intercaladas con arcillitas y arcillitas intercaladas con margas; así también se describió la textura de las rocas que componen las facies mencionadas anteriormente y el tipo de secuencia sedimentaria de cada una de estas facies.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda que los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca realicen un análisis de isótopos de carbono para determinar con mayor precisión el ambiente en que se depositó la Formación Yumagual en las zonas de Otuzco, Matara y San Marcos.

Se recomienda que los estudiantes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca realicen un estudio estratigráfico y correlación litoestratigráfica de la Formación Pariatambo y el Grupo Quilquiñan para compararlas con la Formación Yumagual e interpretar las variación y evolución de la sedimentación en la cuenca Cajamarca.

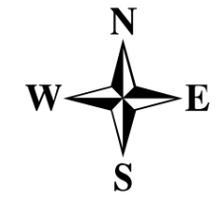
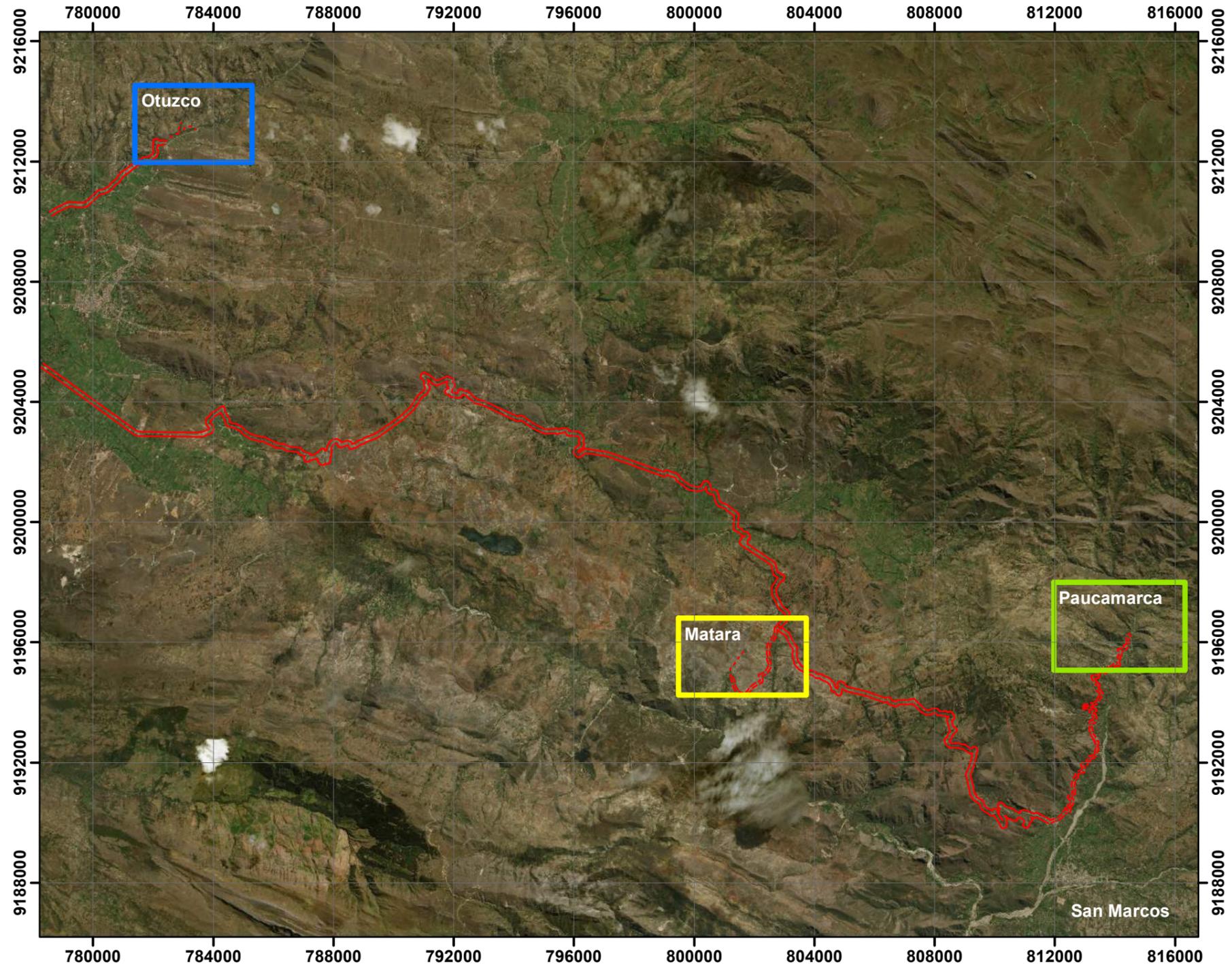
Se recomienda que la Universidad Nacional de Cajamarca brinde a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica microscopios especiales para realizar el análisis de las rocas en láminas delgadas, para tener una mayor precisión y determinar mejor la textura de las rocas de la Formación Yumagual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

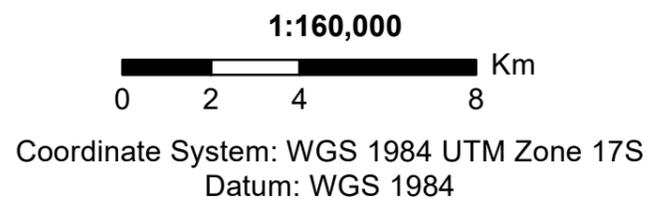
- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico. INGEMMET. Lima - Perú.
- Benavides, V. 1956. Nota preliminar sobre la Geología de Cajamarca. Lima - Perú.
- Herrera. 2011. Estudio Estratigráfico del Cretáceo Superior en los alrededores de la Ciudad de Cajamarca.
- Jacay, J. 2005. Análisis de la sedimentación del Sistema Cretáceo de los andes del Perú Central. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, vol. 08, 11.
- Jaillard, E. 1990. Evolución de la Margen Andina en el Norte del Perú desde el Aptiano superior hasta el Cenomaniano. Sociedad Geológica del Perú.
- Lagos, A., Quispe, C. 2007. Aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los Alrededores de las Localidades de Los Baños Del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, en el Distrito de Cajamarca. Cajamarca – Perú.
- Linneo, C. 1758. Systema naturæ: per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Estocolmo - Suecia.
- Navarrete, E. 2014. Apuntes de estratigrafía y sedimentación. Guayaquil – Ecuador.
- Navarro, J. 2014. Record of Albian to early Cenomanian environmental perturbation in the eastern sub-equatorial Pacific.
- Nichols, G. 2009. Sedimentology and stratigraphy. Estados Unidos. Segunda edición.
- Reguant, S. 2001. Guía Estratigráfica Internacional. Revista de la Sociedad Geológica de España, vol. 14, (3-4).
- Reyes, L. 1980. Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. INGEMMET. Sector Energía y Minas. Boletín N° 31, Serie A. Lima – Perú.
- Rivera, H. 2011. Geología General. Lima - Perú.
- Ruíz, O. 2010. Fósiles de Murcia. Asociación Cultural Paleontológica Murciana. España.
- Tafur, I. 1950. Nota Preliminar de la Geología de Cajamarca. Tesis Doctoral. Universidad Mayor de San Marcos.
- Terrones, L. 2014. Estudio Litológico y Paleontológico de la Formación Yumagual en el Distrito de Cajamarca. Tesis para obtener el título de Geólogo Universidad Nacional de Cajamarca.

- Ventura, R. 2009. Fósiles de Gasterópodos, otra forma de entender el pasado.
Madrid - España.
- Vera, J. 1994. Estratigrafía: Principios y Métodos. Madrid - España.

PLANO DE ACCESIBILIDAD

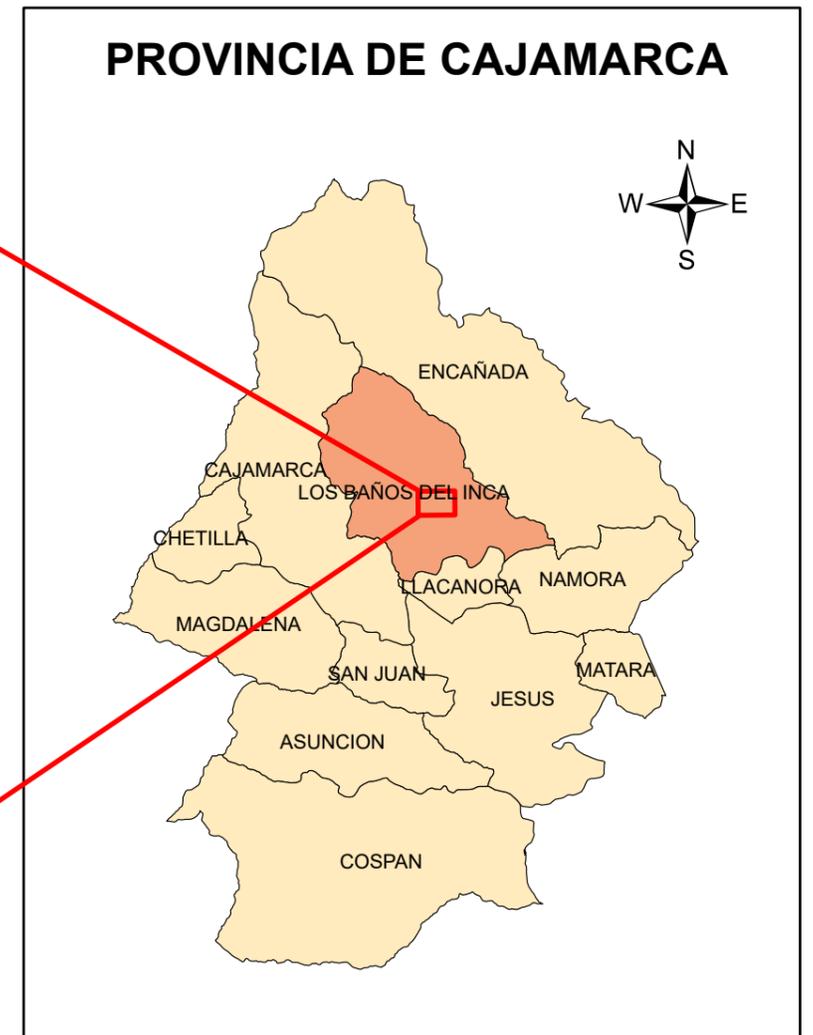
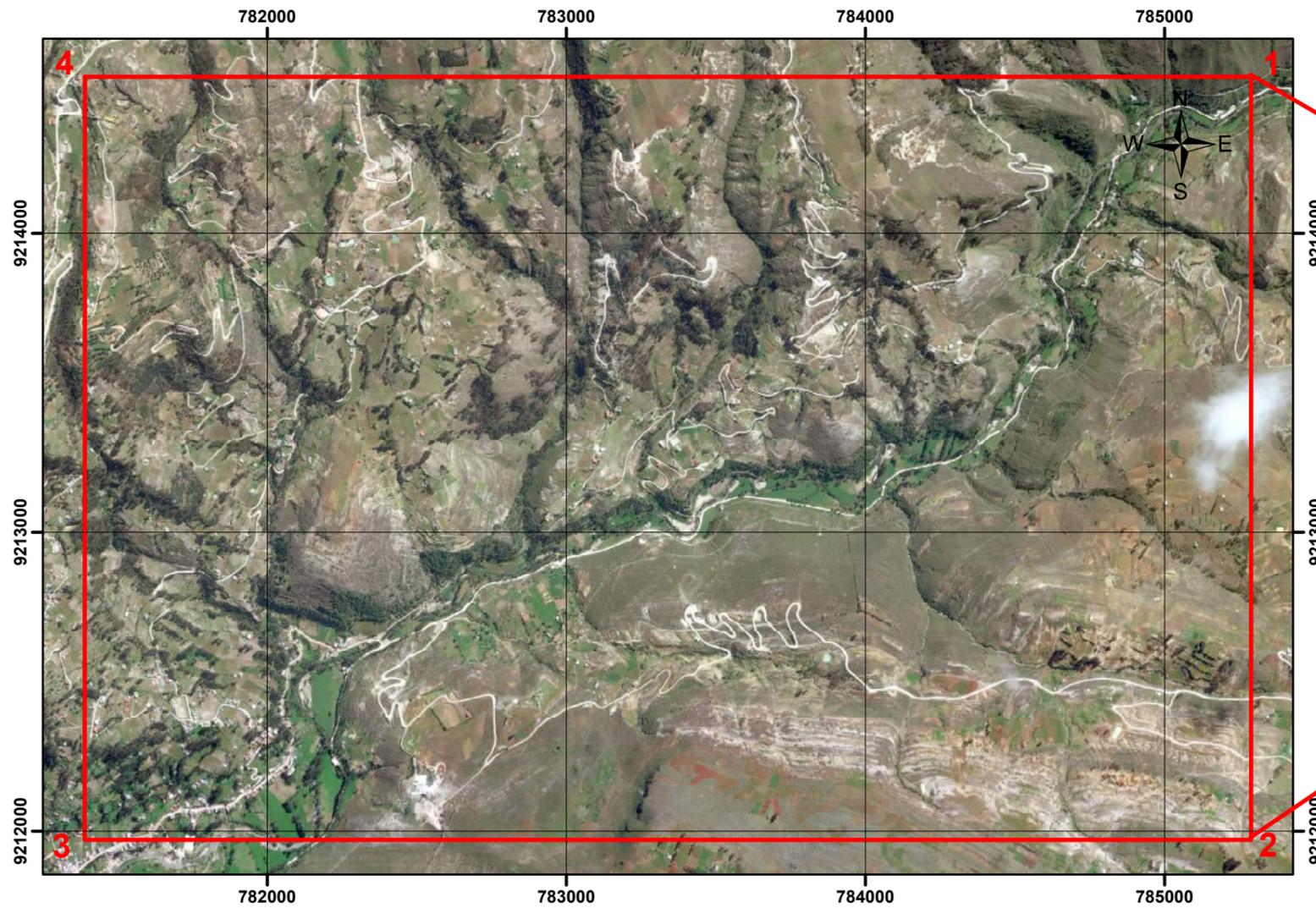


LEYENDA	
	Matara
	Paucamarca
	Otuzco
	Camino de Herradura
	Carretera Afirmada
	Carretera Asfaltada



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	TESIS:	CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO
	PLANO:	ACCESIBILIDAD
	TESISTA:	Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez
	ASESOR:	M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani
ESCALA:	1:160000	FECHA: 11 de diciembre de 2019
		PLANO N°: 01

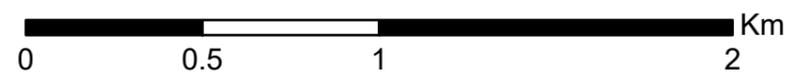
PLANO DE UBICACIÓN DE OTUZCO



LEYENDA

Área de estudio de Otuzco

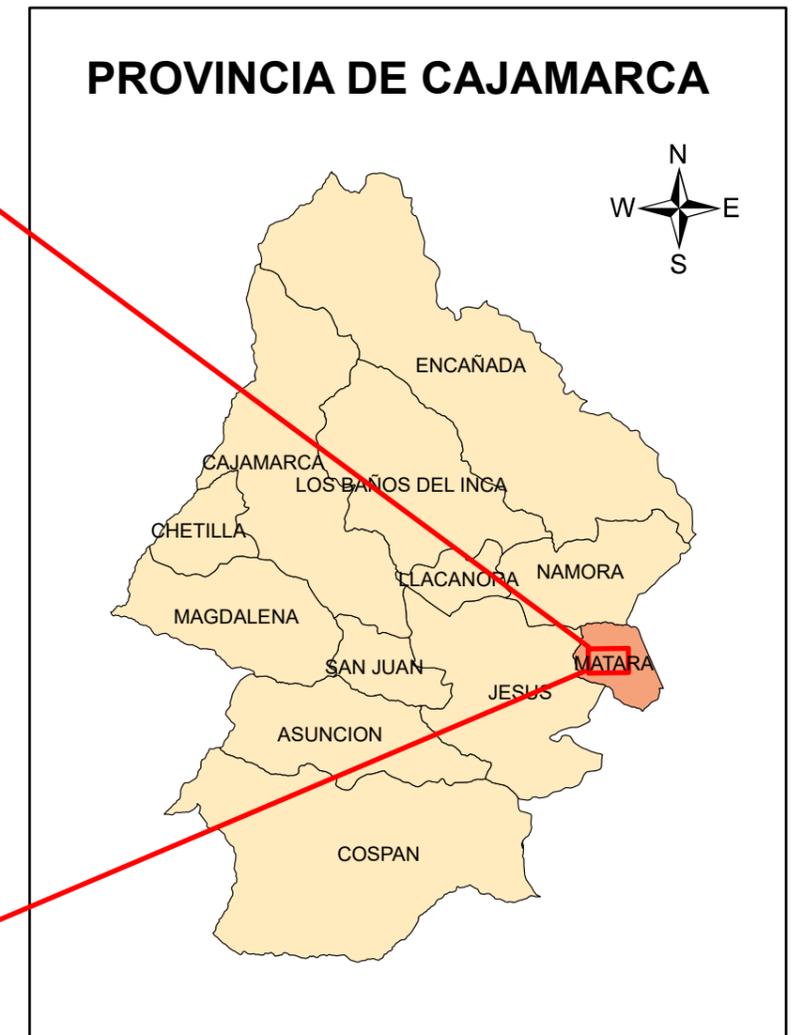
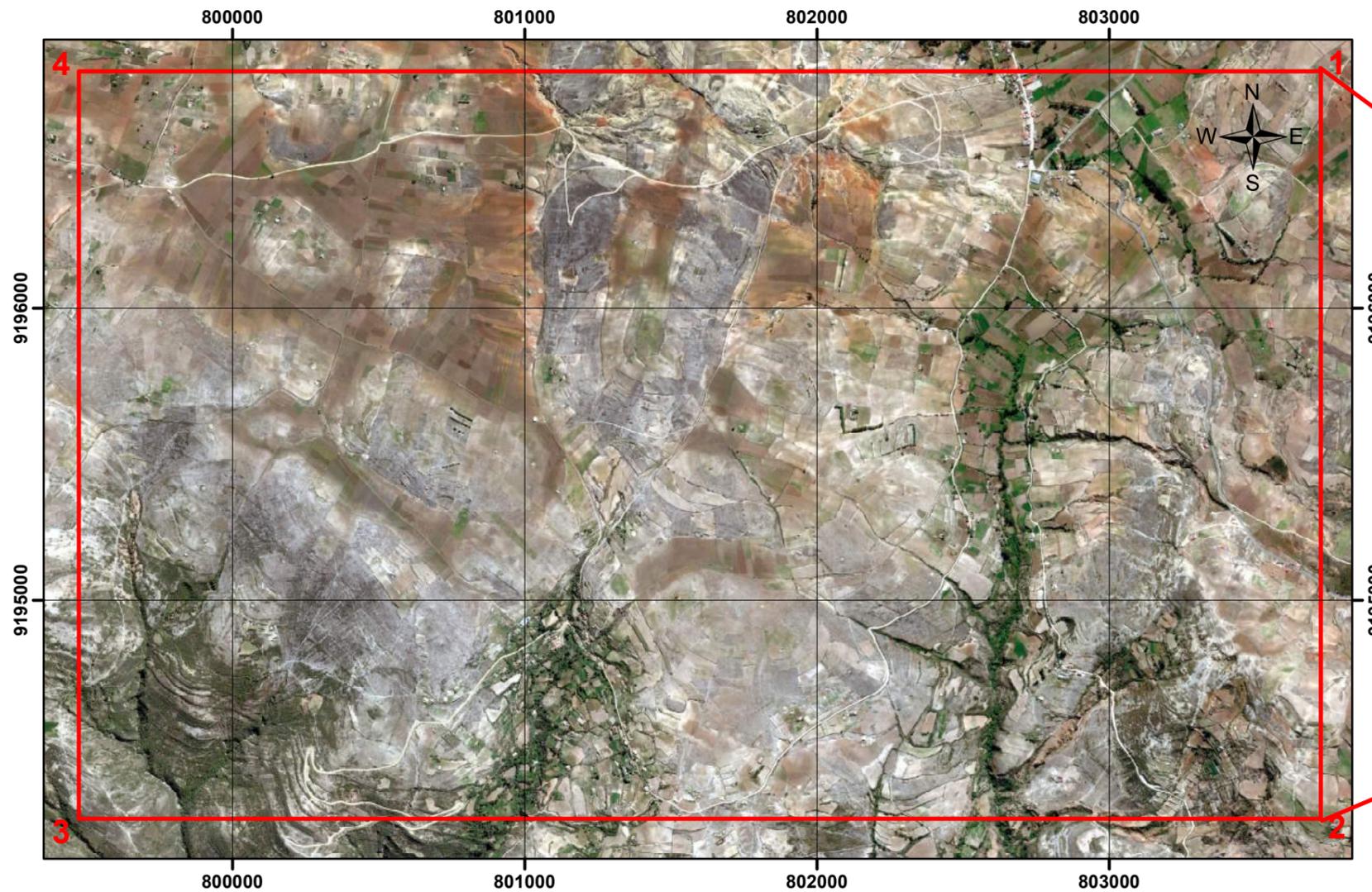
1:20,000



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	TESIS: CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO	
	PLANO: UBICACIÓN DE OTUZCO	
	TESISTA: Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez	PLANO N°: 02
	ASESOR: M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani ESCALA: 1:20000 FECHA: 11 de diciembre de 2019	

PLANO DE UBICACIÓN DE MATARA



LEYENDA

 Área de estudio de Matara

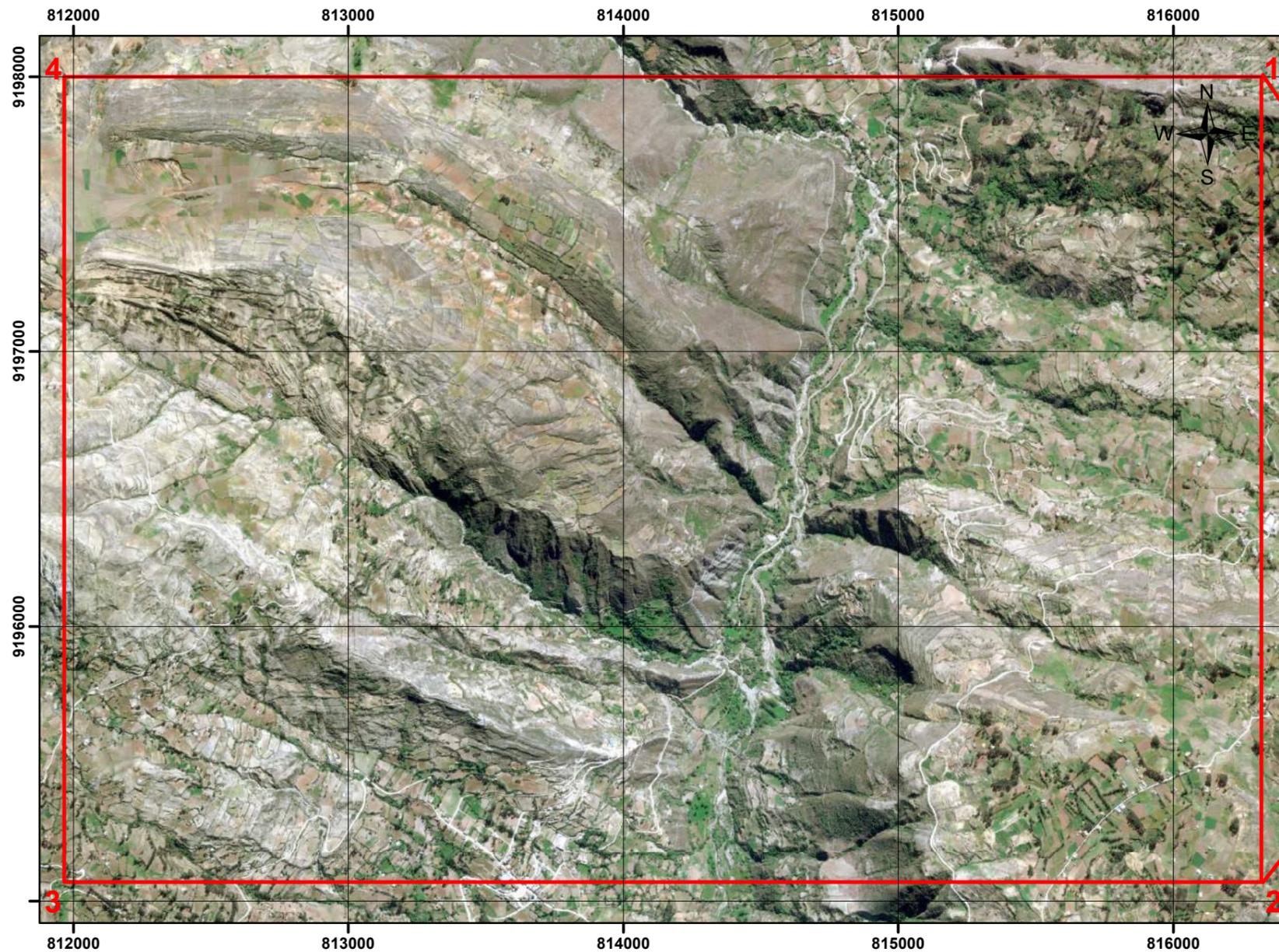
1:20,000



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	TESIS: CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO	
	PLANO: UBICACIÓN DE MATARA	
TESISTA: Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez		PLANO N°:
ASESOR: M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani		03
ESCALA: 1:20000	FECHA: 11 de diciembre de 2019	

PLANO DE UBICACIÓN DE SAN MARCOS



LEYENDA

Área de estudio de San Marcos

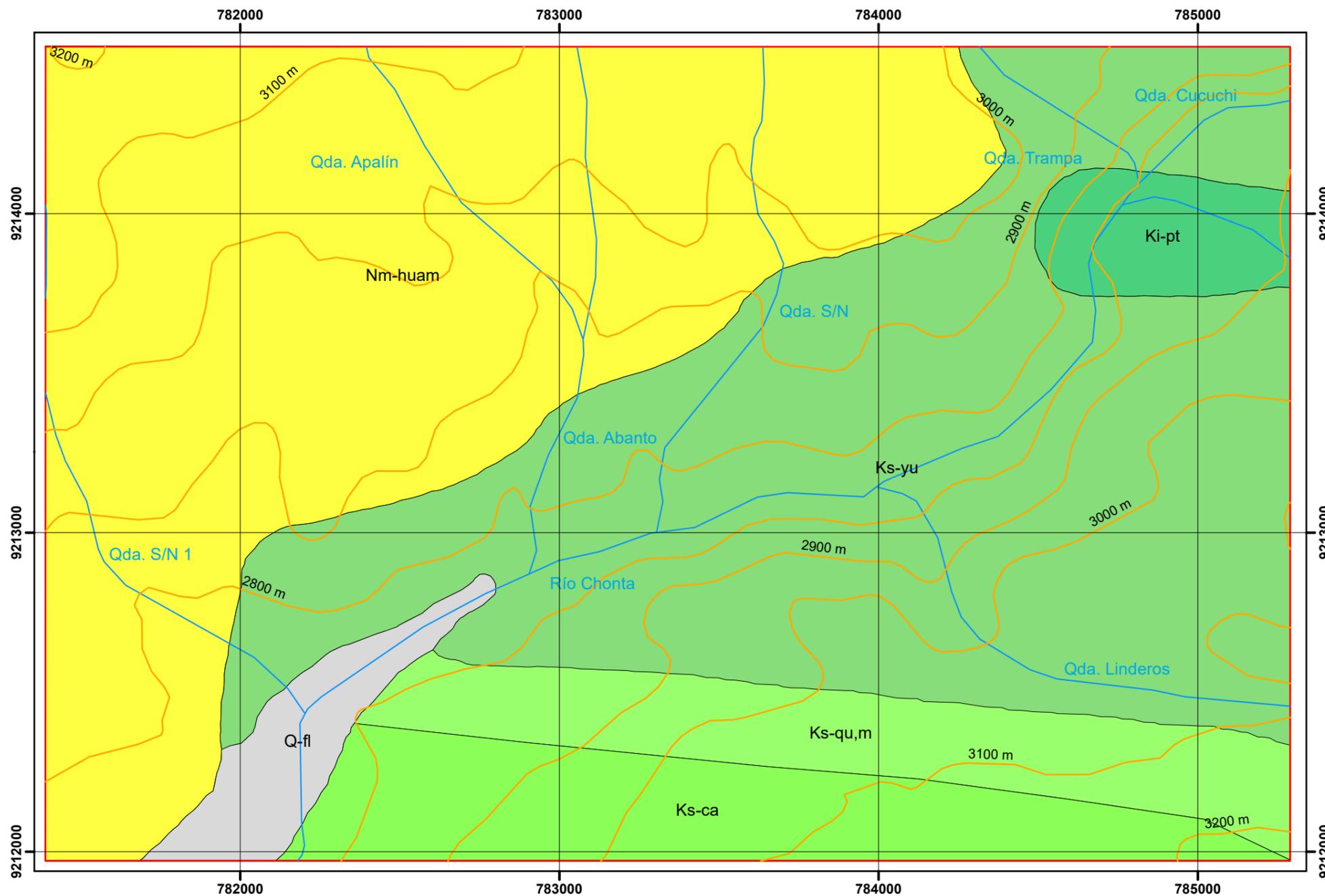
1:20,000



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS:	CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO
PLANO:	UBICACIÓN DE SAN MARCOS
TESISTA:	Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez
ASESOR:	M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani
ESCALA:	1:20000
FECHA:	11 de diciembre de 2019
PLANO N°:	
04	

PLANO GEOLÓGICO DE OTUZCO



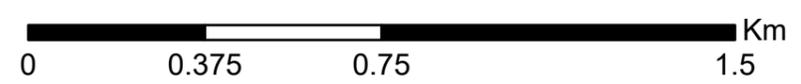
LEYENDA

- Área de estudio de Otuzco
- Cuaternario Fluvial (Q-fl)
- Volcánico Huambos (Nm-huam)
- Formación Cajamarca (Ks-ca)
- Formación Mujarrum - Grupo Quilquiñan (Ks-qu,m)
- Formación Yumagual (Ks-yu)
- Formación Pariatambo (Ki-pt)

SIMBOLOGÍA

- ~ Curvas de nivel
- ~ Drenaje

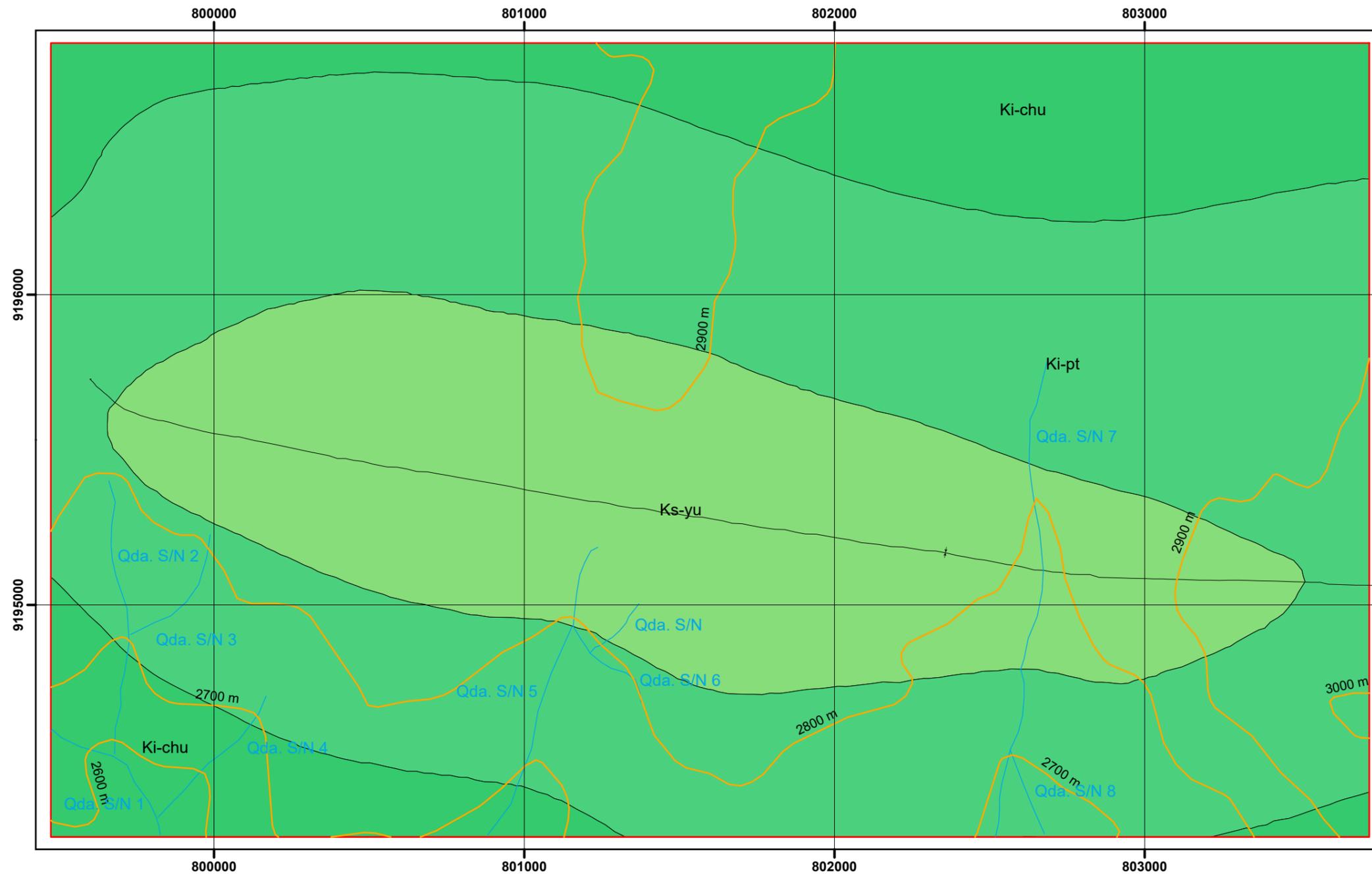
1:15,000



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	TESIS: CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO	
	PLANO: GEOLÓGICO DE OTUZCO	
	TESISTA: Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez	PLANO N°:
	ASESOR: M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani	05
ESCALA: 1:15000	FECHA: 11 de diciembre de 2019	

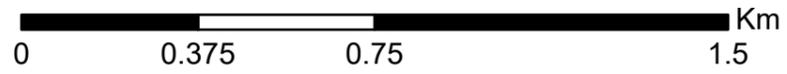
PLANO GEOLÓGICO DE MATARA



LEYENDA	
	Área de estudio de Matara
	Formación Yumagual (Ks-yu)
	Formación Pariatambo (Ki-pt)
	Formación Chúlec (Ki-chu)

SIMBOLOGÍA	
	Sinclinal
	Drenaje
	Drenaje

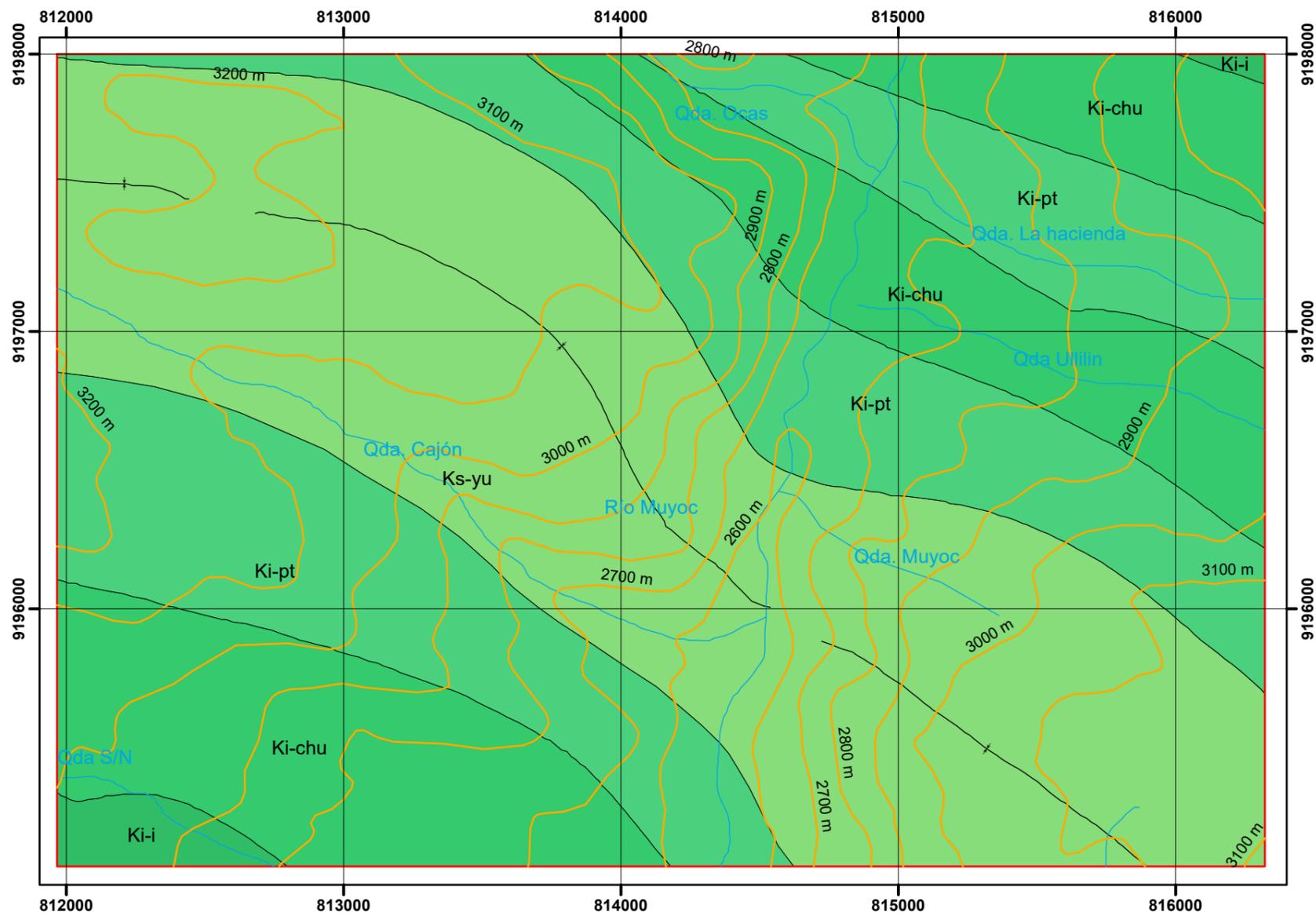
1:15,000



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	TESIS:	CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO
	PLANO:	GEOLÓGICO DE MATARA
	TESISTA:	Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez
	ASESOR:	M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani
ESCALA:	1:15000	FECHA: 11 de diciembre de 2019
		PLANO N°: 06

PLANO GEOLÓGICO DE SAN MARCOS



LEYENDA

- Área de estudio de San Marcos
- Formación Yumagual (Ks-yu)
- Formación Pariatambo (Ki-pt)
- Formación Chúlec (Ki-chu)
- Formación Inca (Ki-i)

SIMBOLOGÍA

- + Sinclinal
- Curvas de nivel
- Drenaje

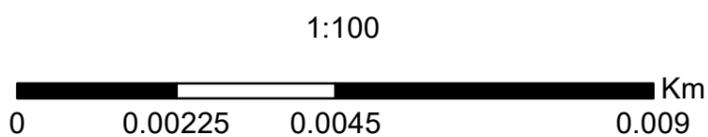
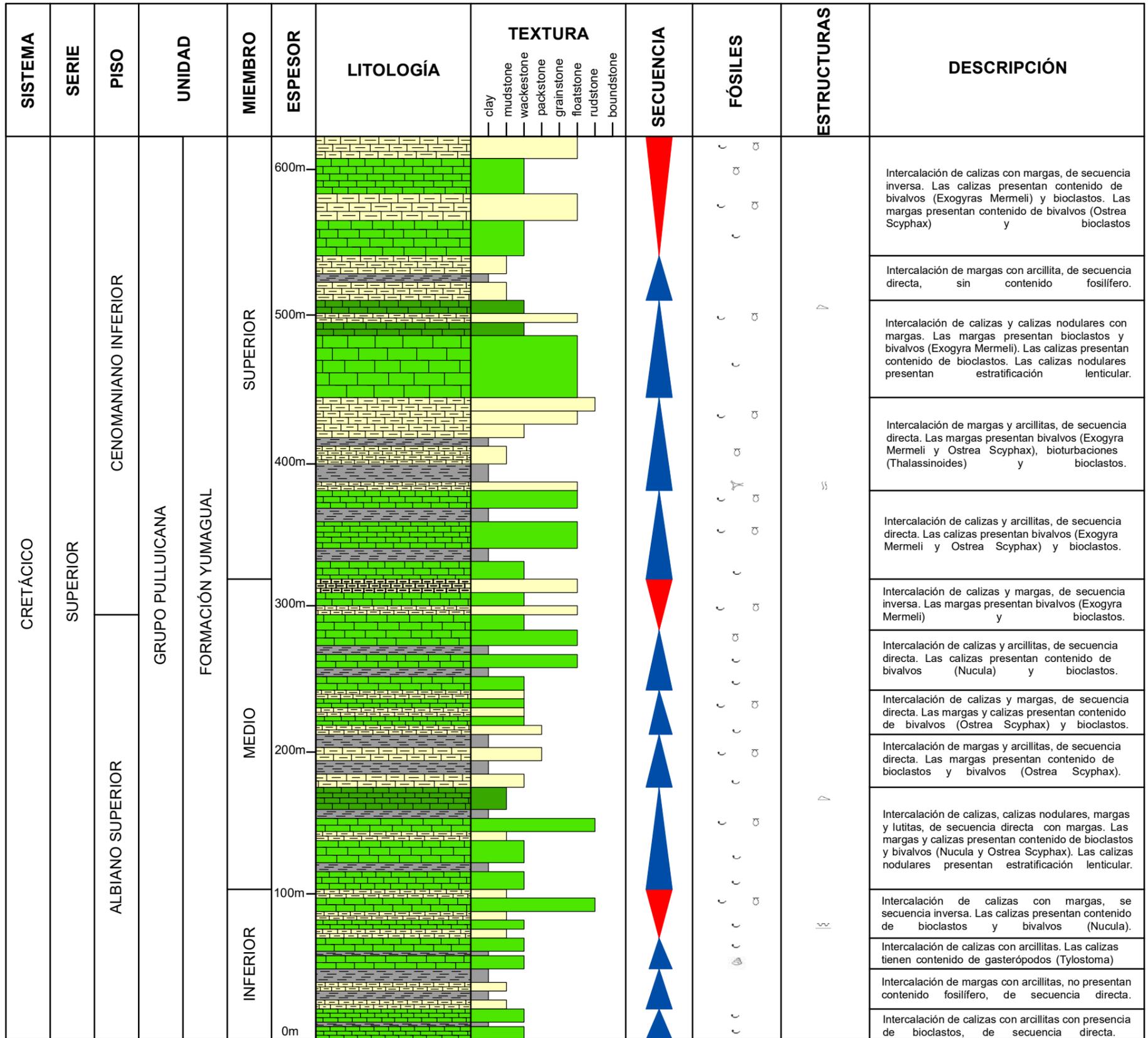
1:20,000



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

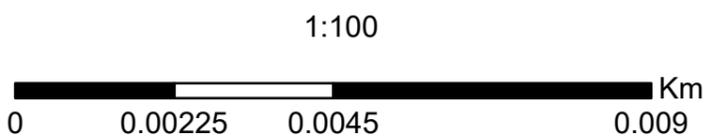
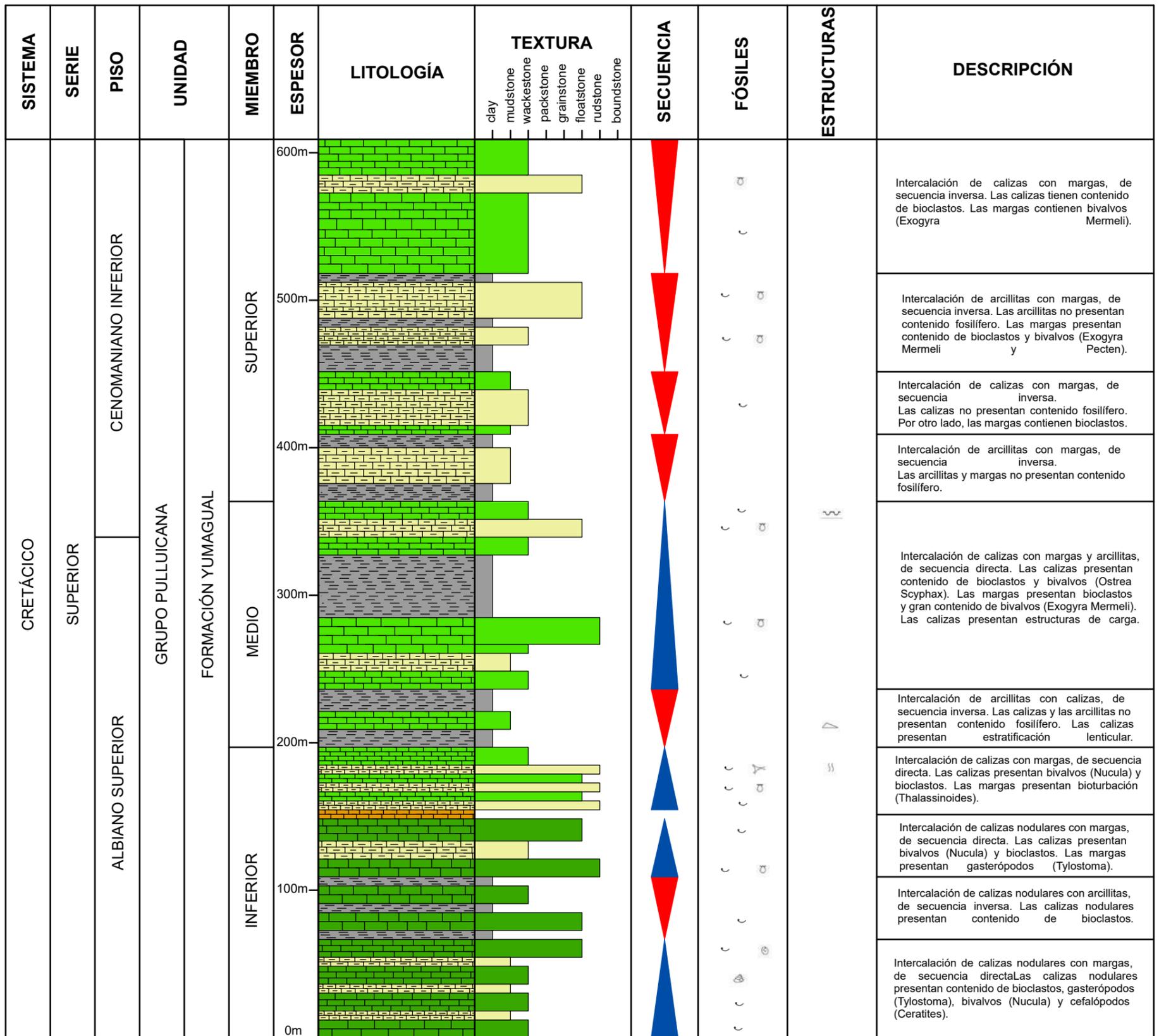
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	TESIS: CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO
PLANO: GEOLÓGICO DE SAN MARCOS	
TESISTA: Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez	PLANO N°:
ASESOR: M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani	07
ESCALA: 1:20000 FECHA: 11 de diciembre de 2019	

COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA DE OTUZCO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	TESIS: CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO
PLANO: COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA DE OTUZCO	
TESISTA: Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez	PLANO N°:
ASESOR: M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani	08
ESCALA: 1:100	FECHA: 11 de diciembre de 2019

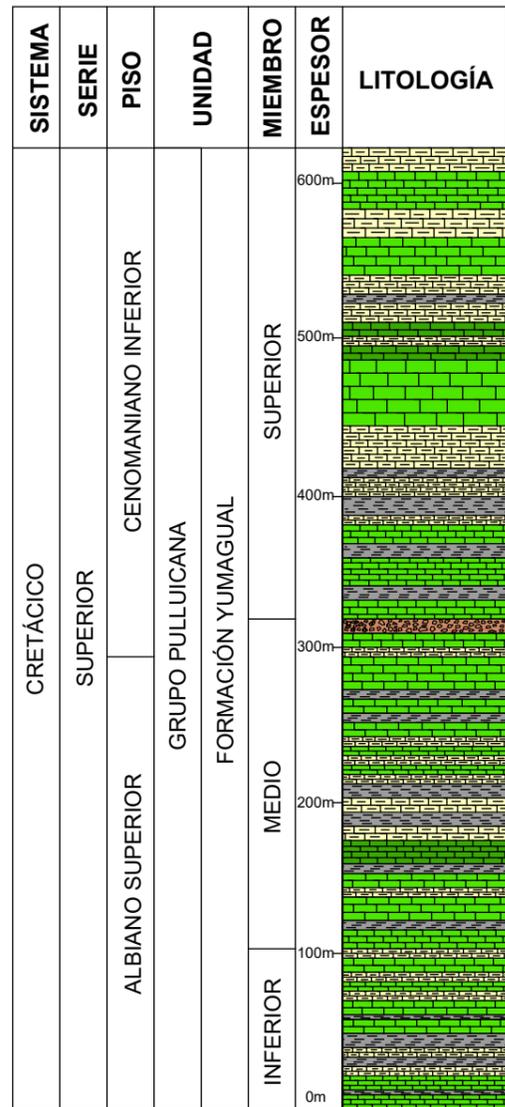
COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA DE SAN MARCOS



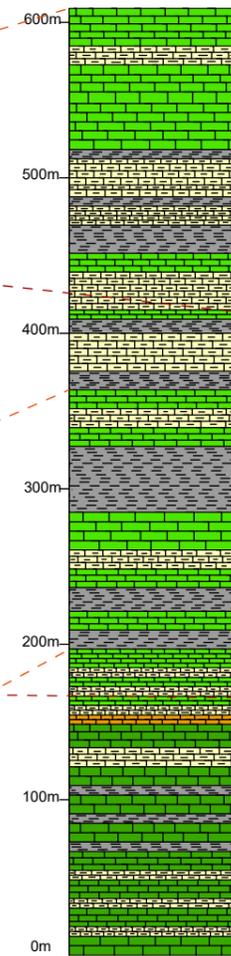
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	TESIS: CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO
PLANO: COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA DE SAN MARCOS	
TESISTA: Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez	
ASESOR: M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA: 1:100	FECHA: 11 de diciembre de 2019
PLANO N°: 10	

CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL

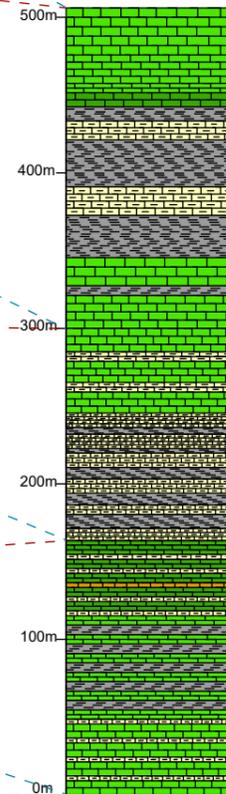
COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA DE OTUZCO



COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA DE SAN MARCOS



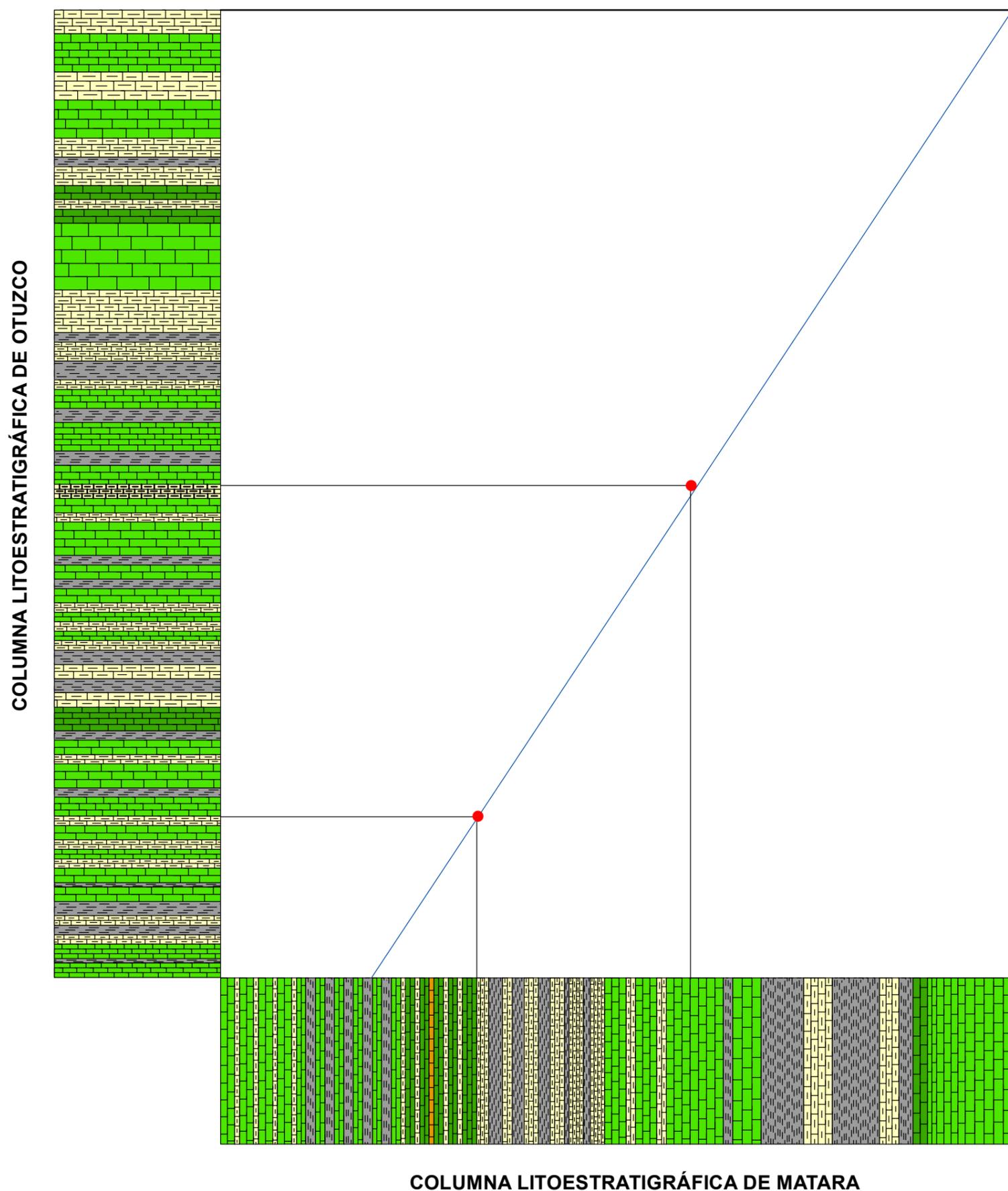
COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA DE MATARA



LITOLOGÍA		ESTRUCTURAS		FÓSILES	
	Caliza		Bioturbación		Cefalópodos
	Caliza Nodular		Estructuras de carga		Bivalvos
	Margas		Estratificación lenticulares		Thalassinoides
	Arcillitas		Correlación Otuzco - San Marcos		Gasterópodos
	Chert		Correlación San Marcos - Matara		
	Brecha sedimentaria		Correlación Otuzco - Matara		

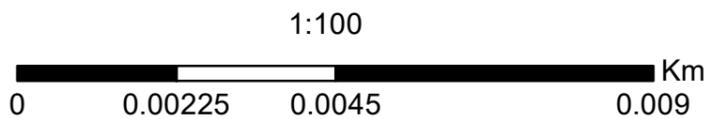
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	TESIS:	CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO
	PLANO:	CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA
	TESISTA:	Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez
	ASESOR:	M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani
	ESCALA:	1:150
	FECHA:	11 de diciembre de 2019
		PLANO N°: 11

CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE OTUZCO Y MATARA - SISTEMA GRÁFICO DE SHAW



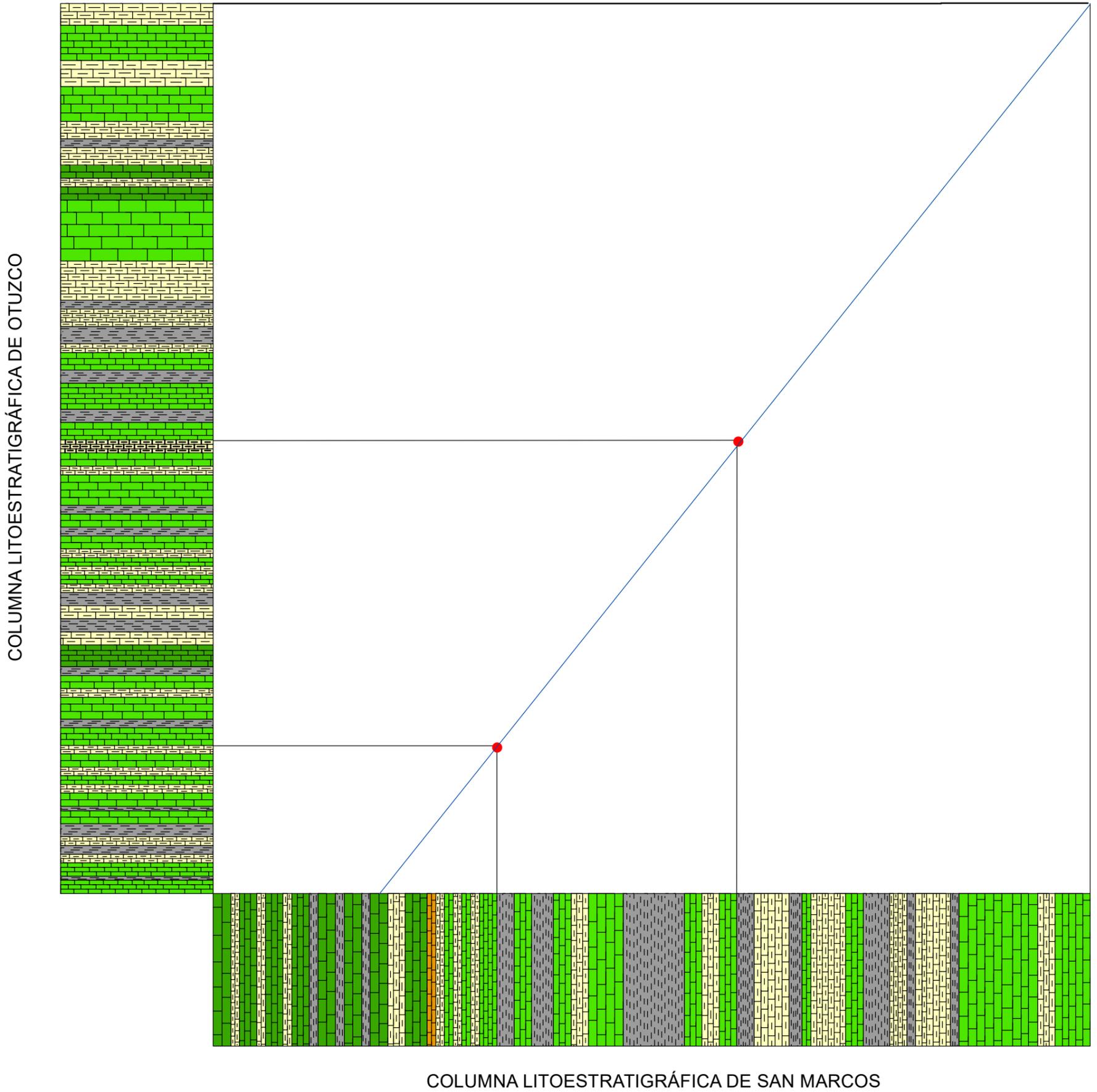
LITOLOGÍA			
	Caliza		Arcillitas
	Caliza Nodular		Chert
	Margas		

SIMBOLOGÍA	
	Línea de correlación
	Líneas de contacto
	Puntos de intersección

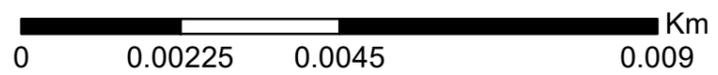


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
	TESIS:	CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO	
	PLANO:	CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE OTUZCO Y MATARA - SISTEMA GRÁFICO DE SHAW	
	TESISTA:	Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez	PLANO N°:
	ASESOR:	M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani	12
ESCALA:	1:100	FECHA:	
		11 de diciembre de 2019	

CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE OTUZCO Y SAN MARCOS - SISTEMA GRÁFICO DE SHAW



1:100

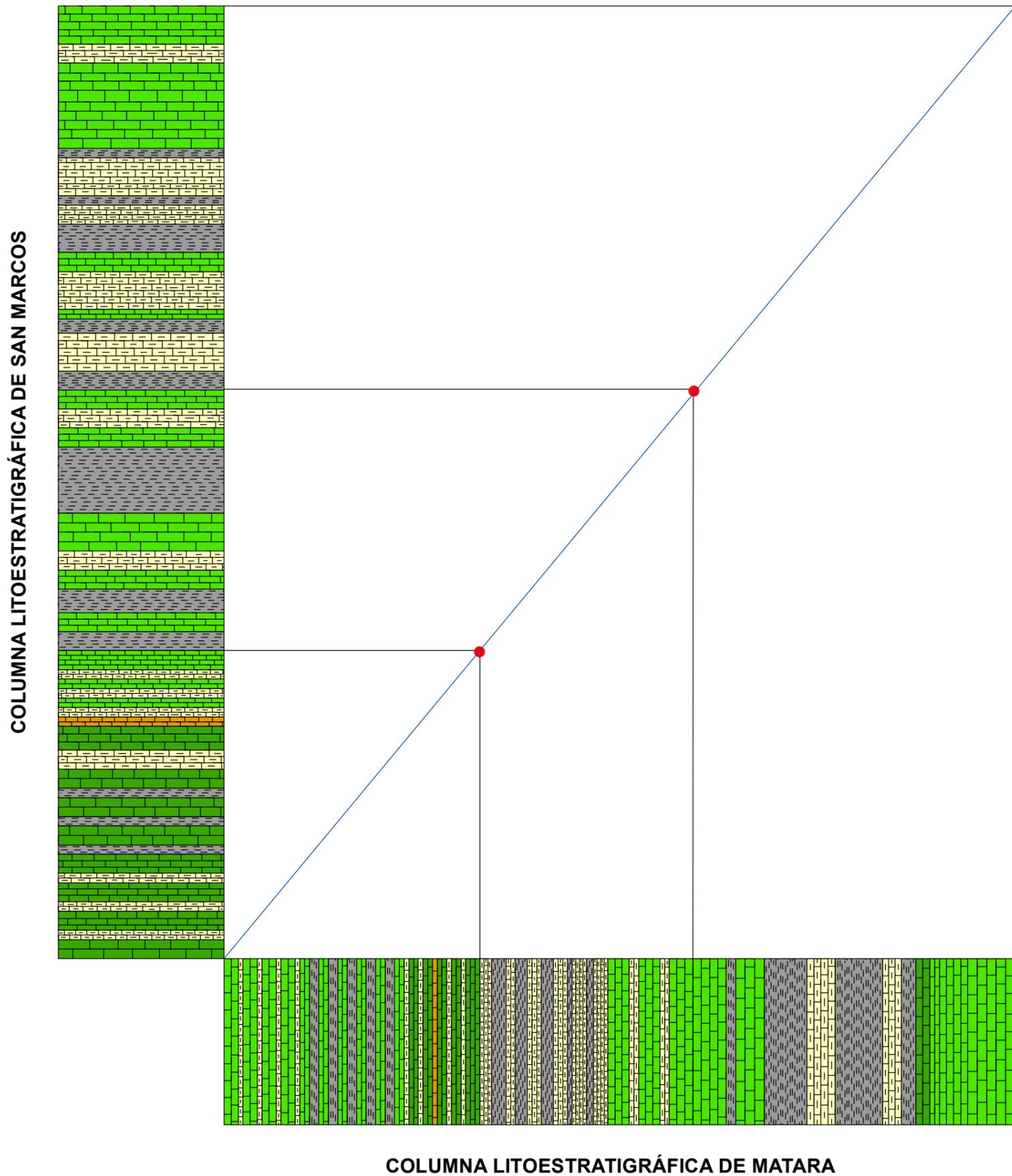


LITOLOGÍA			
	Caliza		Arcillitas
	Caliza Nodular		Chert
	Margas		

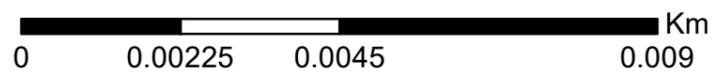
SIMBOLOGÍA	
	Línea de correlación
	Líneas de contacto
	Puntos de intersección

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
	TESIS: CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO		
	PLANO: CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE OTUZCO Y SAN MARCOS - SISTEMA GRÁFICO DE SHAW		
	TESISTA:	Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez	PLANO N°: 13
	ASESOR:	M. Cs. Crispin Zenón Quispe Mamani	
ESCALA:	1:100	FECHA:	11 de diciembre de 2019

CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE SAN MARCOS Y MATARA - SISTEMA GRÁFICO DE SHAW



1:100



LITOLOGÍA			
	Caliza		Arcillitas
	Caliza Nodular		Chert
	Margas		

SIMBOLOGÍA	
	Línea de correlación
	Líneas de contacto
	Puntos de intersección

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
	TESIS:	CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN LAS ZONAS DE MATARA, SAN MARCOS Y OTUZCO	
	PLANO:	CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE SAN MARCOS Y MATARA - SISTEMA GRÁFICO DE SHAW	
	TESISTA:	Bach. Maricarmen Yessenia Mendoza Alvarez	PLANO N°: 14
	ASESOR:	M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA:	1:100	FECHA:	11 de diciembre de 2019