

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



TESIS PROFESIONAL

**CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL
COMPRENDIDA EN LOS SECTORES DE RONQUILLO, PUYLLUCANA Y
LA ENCAÑADA, 2017.**

**Para optar el título profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO**

**Presentado por:
Neysier Cristian, Caja Rojas**

**Asesor:
MCs. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani**

**CAJAMARCA -PERÚ
2017**

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida, su amor, comprensión, protección y guiarme en todo momento.

A mis padres Asunción y Rosa, por ser el pilar más importante en mi vida y por demostrarme apoyo incondicional; enseñándome a no desfallecer ni rendirme ante nada.

A mis hermanos y demás familiares por brindarme su apoyo en los momentos más felices y tristes a lo largo de mi formación profesional.

A mis amigos, que con su colaboración y conocimientos hicieron de esta experiencia una de las más especiales.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesor el Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, a mi alma mater la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, en especial a todos mis docentes por haber compartido sus sabios conocimientos en mi formación profesional; así como la motivación de superarme y seguir superándome cada día.

Mi agradecimiento a mis padres y hermanos, por estar siempre a mi lado, brindándome todo su apoyo, alentándome en todo momento y permitirme concebir esta meta tan anhelada. A mis amigos quienes me acompañaron todos estos años tanto dentro como fuera de la universidad.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.2. BASES TEÓRICAS	6
2.2.1. Principios de la Estratigrafía.....	6
2.2.1.1. Horizontalidad de los estratos	6
2.2.1.2. Principio de superposición de los estratos	6
2.2.1.3. Principio del Uniformismo o Actualismo	7
2.2.1.4. Principio de la Sucesión Faunística.....	7
2.2.1.5. Principio de la Simultaneidad de Eventos	7
2.2.1.6. Principio de Correlación de Facies (1838).....	8
2.2.2. Tipos de Estratificación	8
2.2.2.1. Geometría de los estratos	9
2.2.2.2. Asociación de estratos	10
2.2.3. Facies Sedimentarias	11
2.2.3.1. Tipos de Facies	11
2.2.3.2. Facies Carbonatadas	12
2.2.3.3. Asociación de Facies.....	12
2.2.4. Ambiente Sedimentario	13
2.2.5. Ley o regla de Walther	13

	Pág.
2.2.6. Medida de la Estratificación.....	15
2.2.7. La Columna Estratigráfica	16
2.2.8. La Correlación Estratigráfica	18
2.2.8.1. La Litocorrelación	19
2.2.9. Sistema Gráfico de Correlación de Shaw	19
2.2.10. Rocas sedimentarias carbonatadas	21
2.2.10.1. Clasificación según Folk (1959,1962).....	21
2.2.10.2. Clasificación según Dunham (1962).....	22
2.2.10.3. Clasificación de Friedman (1965).....	24
2.2.10.4. Clasificación de Embry y Klovan (1971)	24
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	25
CAPÍTULO III	26
MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.1.1. Geográfica.....	26
3.1.2. Política.....	28
3.1.3. Accesibilidad.....	29
3.2. PROCEDIMIENTOS	29
3.2.1. Metodología.....	29
3.2.1.1. Población de estudio	30
3.2.1.2. Muestra	30
3.2.1.3. Unidad de análisis	30
3.2.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	30
3.2.3. TÉCNICAS	31
3.2.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	31
3.3. MARCO ESTRATIGRÁFICO PARA LA CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL	33

	Pág.
3.4. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL DISTRITO DE LA ENCAÑADA.	38
3.4.1. Unidades Litoestratigráficas del Miembro Inferior.....	38
3.4.1.1. Facies Litoestratigráfica : caliza nodulosa (wackstone)- margas – arcillitas.....	38
3.4.1.2. Facies Litoestratigráfica: caliza (grainstone)- arcillitas.....	39
3.4.2. Unidades Litoestratigráficas del Miembro Medio	40
3.4.2.1. Facies Litoestratigráfica : caliza nodular – margas-arcillitas.....	40
3.4.2.2. Facies Litoestratigráfica : caliza grainstone- packstone.....	41
3.4.2.3. Facies Litoestratigráfica : calizas (grainstone)- margas- arcillitas.....	41
3.4.3. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Superior).....	42
3.4.3.1. Facies Litoestratigráfica : Calizas nodulares (Grainstone).....	42
3.5. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL CENTRO POBLADO PULLUYCANA.	43
3.5.1. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Inferior)	43
3.5.1.1. Facies Litoestratigráfica : calizas nodulosas.....	44
3.5.1.2. Facies Litoestratigráfica : arcillitas - margas-calizas.....	45
3.5.2. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Medio)	45
3.5.2.1. Facies Litoestratigráfica : caliza-margas-arcillitas	45
3.5.2.2. Facies Litoestratigráfica : caliza grainstone- dolomitizadas.....	46
3.5.3. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Superior).....	47
3.5.3.1. Facies Litoestratigráfica : calizas-arcillitas.....	47
3.5.3.2. Facies Litoestratigráfica : caliza (grainstone)- wackstone.....	47
3.5.3.3. Facies Litoestratigráfica : caliza (packstone)-margas	49
3.6. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN RONQUILLO.	50
3.6.1. Formación Yumagual- Miembro Inferior	50

	Pág.
3.6.1.1. Facies Litoestratigráfica : calizas micríticas (mudstone).....	50
3.6.1.2. Facies Litoestratigráfica : calizas (wackstone–packstone)	51
3.6.1.3. Facies Litoestratigráfica : calizas (packstone)	51
3.6.1.4. Facies Litoestratigráfica : margas	52
3.6.2. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Medio)	53
3.6.2.1. Facies Litoestratigráfica : calizas wackstone	53
3.6.2.2. Facies Litoestratigráfica : calizas (packstone)- arcillitas	54
3.6.3. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Superior).....	54
3.6.3.1. Facies Litoestratigráfica : calizas (grainstone)	54
3.7. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	55
3.8. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA.....	57
3.9. CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA	59
3.9.1. Edad de la Formación Yumagual	59
3.9.2. Ambiente de sedimentación de la Formación Yumagual.....	60
3.9.3. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados.	61
3.9.4. Resultados de las Facies de la Formación Yumagual por Unidades Litoestratigráficas.	61
CAPÍTULO IV	63
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
4.1. ANÁLISIS DE DATOS	63
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	65
CAPÍTULO V	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1. CONCLUSIONES.....	67
5.2. RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	71

	Pág.
Anexos de fotos.....	71
Anexos de planos.....	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Clasificación de los tipos de ambiente sedimentarios marinos.....	13
Cuadro 2: Accesibilidad a las áreas de estudio.....	29
Cuadro 3: Definición de las variables de la investigación.....	30
Cuadro 4: Relación entre las variables, indicadores e instrumentos de recolección de datos.....	31
Cuadro 5: Equipos de trabajo para el desarrollo de la tesis profesional.....	32
Cuadro 6: Descripción petrológica de las calizas del miembro Superior (M-01).	57
Cuadro 7: Descripción petrológica de las calizas del miembro superior (M-02).	57
Cuadro 8: Descripción petrológica de las calizas del miembro inferior (MPY-04).	58
Cuadro 9: Descripción petrológica de las calizas del miembro inferior (M-05).	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Geometría de los estratos, de acuerdo con su continuidad, forma de las Superficies de estratificación y variación lateral de espesor. (Vera, 1994).	10
Figura 2: Asociación de facies. (Buatois, 2002)	13
Figura 3: Aplicación de las Ley de Walther (Vera, 1994).....	14
Figura 4: Ley de Walther, contactos entre asociaciones de facies y tiempo de sedimentación (Caballero, 2012).....	14
Figura 5: Medición de Estratos (Krumbein y Sloss – 1969).....	16
Figura 6: Modelo de Correlación Litoestratigráfica. (Milley y Stones, 2006).....	17
Figura 7: Modelo de Correlación Bioestratigráfica. (Milley y Stones, 2006). ...	17
Figura 8: Ejemplo de Litocorrelación entre dos secciones estratigráficas con niveles de carbón, dentro de una misma cuenca. (Shaw, 1988).	20
Figura 9: Clasificación de las rocas carbonatadas. (Folk 1962)	22
Figura 10: Clasificación de las rocas carbonatadas según Dunham (modificado del 1962).	23
Figura 11: Ubicación Geográfica del área de estudio.....	27
Figura 12: Ubicación Política del área de estudio	28
Figura 13: Ficha técnica para la recolección de los datos de campo.	32
Figura 14: Ubicación de la Fm. Yumagual dentro de la columna estratigráfica en la zona de Cajamarca.....	34
Figura 15: Geología de la zona Cajamarca asociada a las principales estructuras geológicas regionales. Fuente (Elaboración propia)	37
Figura 16: Representación de la litoestratigrafía, tectonismo del norte del Perú y la relación con la depositación de la Formación Yumagual. (Elaboración propia)	37
Figura 17: Esquema mostrando la delimitación de la sedimentación marina de la Formación Yumagual.	60
Figura 18: Ubicación dentro de las zonas de sedimentación para la Formación Yumagual. (Adaptada por el autor)	64

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág
Foto 1: Facies de arcillitas intercaladas con calizas wackstones en el miembro inferior de la Formación Yumagual en el distrito de La Encañada.	39
Foto 2: Nótese las margas del Miembro Inferior de la Formación Yumagual en el distrito de La Encañada.....	39
Foto 3: Facies de arcillitas intercaladas con calizas wackstones en el miembro inferior, en la Encañada.....	40
Foto 4: A la izquierda margas, y a la derecha una caliza nodular en La Encañada.	40
Foto 5: Calizas grainstone y packstone del miembro medio de la Formación Yumagual en La Encañada.	41
Foto 6: Facies de intercalaciones de calizas- margas- arcillitas en La Encañada.	42
Foto 7: A la izquierda calizas y a la derecha arcillitas.	42
Foto 8: Calizas nodulosas en el piso de Miembro Superior en La Encañada...	43
Foto 9: Niveles de chert en el contacto de la Fm. Yumagual con Fm. Pariatambo.	44
Foto 10: Calizas nodulosas con intercalación de arcillitas, con un espesor de estrato de 10 – 60cm en la Quebrada de Puyllucana.....	44
Foto 11: Intercalación de arcillitas con calizas- margas-arcillitas en la quebrada de Puyllucana.....	45
Foto 12: Afloramiento de la Fm. Yumagual en la quebrada Puyllucana.	46
Foto 13 : Vista panorámica del miembro inferior y medio de la Formación Yumagual.	46
Foto 14: Dolomías en muestra de mano del techo del miembro medio de la Formación Yumagual en Puyllucana.	47
Foto 15: A la izquierda afloramiento de arcillitas y a la derecha calizas	47
Foto 16: A la izquierda estratos de gran espesor ya la derecha muestra de mano de calizas wackstone de esta facies.	48
Foto 17: Intercalacion de calizas packstone- wackstone.....	48
Foto 18: Vista panorámica del miembro superior de la Fm. Yumagual.	49
Foto 19: caliza mudstone del miembro inferior de la Fm. Yumagual.	50

	Pág.
Foto 20: Calizas fracturadas del miembro inferior de la Formación Yumagual en Ronquillo.	51
Foto 21: Nótese la secuencia de calizas intercalacion de arcillitas en techo....	52
Foto 22: Afloramientos de margas en la Fm. Yumagual en caserío Ronquillo.	52
Foto 23: Recristalización de calcita en las fracturas con rumbo NE.	53
Foto 24: Calizas de textura wackstone en el miembro medio de la Formación Yumagual en Ronquillo.	53
Foto 25: Afloramiento de calizas packstone con intercalación de arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual.....	54
Foto 26: Calizas grainstone en el techo del miembro superior en Ronquillo. ...	55
Foto 27: Ala izquierda load marks (Encañada) y a la derecha bioturbaciones(Ronquillo).	55
Foto 28: Laminaciones de arcillitas, con estromatolitos dentro de los estratos en La Encañada.	56
Foto 29: Pequeños fósiles (bivalvos) alineados en las laminaciones y paralelas a la orientación de los estratos en Puyllucana.	56
Foto 30: Estromatolitos dentro del estrato, distorcionados y fracturados en Ronquillo.	56
Foto 31: Vista al este de la zona de investigacion Ronquillo.....	71
Foto 32: Vista al este de la zona de investigacion.(Puyllucana).....	71
Foto 33: Vista al este de la zona de investigacion.(Encañada).....	72
Foto 34: Vista del contacto entre Fm. Pariatambo y Fm. Yumagual en la zona de Ronquillo.	72
Foto 35: Biozonas de conjunto, Ronquillo, Puyllucana y La Encañada.....	73
Foto 36: Vista panorámica del miembro medio de la Formación Yumagual en la Encañada.	73
Foto 37: A la izquierda margas de la zona La Encañada y a la derecha caliza grainstone zona de Ronquillo.	74
Foto 38: Calizas nodulosas en transición del miembro inferior al miembro medio (Encañada).....	74

RESUMEN

La investigación de correlación litoestratigráfica de la Formación Yumagual comprende los sectores de Ronquillo, Puyllucana y La Encañada, ya que actualmente no existen estudios a detalle de sus características litoestratigráficas; cuyo objetivo ha sido definir el tipo de ambiente, con metodología básicamente de campo e interpretativa.

La investigación consistió en fases: gabinete en buscar información de estudios sobre la Formación Yumagual, elaborar las correlaciones con las tres columnas y confeccionar planos con la información. La fase de campo consistió en elaborar columnas estratigráficas en las zonas de Ronquillo, Puyllucana y La Encañada para correlacionarlas litoestratigráficamente con el método de correlación de Shaw. Presenta estructuras tales como, load marks, laminaciones, bioturbaciones; depositadas en secuencias directas, inversas y rítmicas.

Su característica es que en las tres zonas presenta más de dos facies de sedimentación habiéndose reconocido rocas de los tres miembros que corresponden a calizas (mudstone, grainstone, packstone y grainstone), arcillitas, margas y dolomías esta última en Puyllucana. Según el sistema de litocorrelación por el método de Shaw las tres zonas se corresponden, aunque presentando ciertas características propias tales como su espesor y la tasa de sedimentación.

Finalmente para la interpretación se ha teniendo en cuenta los estudios a nivel local y nacional se ha llegado a concluir que esta se encuentra en un ambiente nerítico (foreshore) y cuya edad varía 94-100 Ma (CSI-2016).

Palabras claves: correlación, facies estratigráfica, ambiente sedimentario, tiempo geológico, sucesión estratigráfica.

ABSTRACT

The lithostratigraphic correlation research of the Yumagual Formation includes the sectors of Ronquillo, Puyllucana and La Encañada, since there are currently no detailed studies of their lithostratigraphic characteristics; whose objective has been to define the type of environment, with basically field and interpretative methodology.

The research consisted of phases: a cabinet to search for information on studies on the Yumagual Formation, to elaborate the correlations with the three columns and to draw up plans with the information. The field phase consisted of producing stratigraphic columns in the areas of Ronquillo, Puyllucana and La Encañada to correlate them lithostratigraphically with the Shaw correlation method. It presents structures such as, load marks, laminations, bioturbations; deposited in direct, inverse and rhythmic sequences.

Its characteristic is that in the three zones it has more than two facies of sedimentation, having recognized rocks of the three limbs that correspond to limestones (mudstone, grainstone, packstone and grainstone), argillites, marls and dolomites in Puyllucana. According to the system of lithocorrelation by the Shaw method, the three zones correspond, although presenting certain characteristics such as their thickness and the sedimentation rate.

Finally for the interpretation it has been taken into account the studies at local and national level it has been concluded that this is in a neritic environment (foreshore) and whose age varies 94-100 Ma (CSI-2016).

Keywords: correlation, stratigraphic facies, sedimentary environment, geological time, stratigraphic succession.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El Sistema Cretácico Superior en los Andes Norperuanos está conformado por varias Formaciones Carbonatadas las cuales presentan características distintivas diferentes , dentro de la cual involucra la Formación Yumagual; y debido a que en la actualidad no existen estudios de correlación litoestratigráficas locales de sus afloramientos que comprendan los distritos de Ronquillo, Puyllucana y la Encañada, y siendo necesario implementar estudios a detalle a nivel local para tener un mejor conocimiento de sus características estratigráficas, el origen de su génesis, sus facies de sedimentación, tipo de secuencia, estructuras, litología y el ambiente de depositación para su correlación litoestratigráfica y de esta manera contribuir nuevos conceptos que ayuden a entender la evolución de la Cuenca Sedimentaria.

De esta manera se hace la interrogante. ¿Cuáles son las características litoestratigráficas de la Formación Yumagual para su correlación en los distritos de Ronquillo, Puyllucana y la Encañada?

Pues la investigación tiene como objetivo correlacionar en las zonas antes mencionadas elaborando columnas estratigráficas, determinando las estructuras sedimentarias y las condiciones de depositación para interpretar sus Unidades Litoestratigráficas de esa manera corroborarlas en el tiempo cronoestratigráfico (Ma) según la Comisión Estratigráfica Internacional-2016.

La hipótesis que se plantea para la investigación es que las características litoestratigráficas la Formación Yumagual se determinan de acuerdo a sus parámetros de la litología, el espesor, estructuras, textura, secuencia sedimentaria, ambiente de depositación, en el espacio y tiempo geocronológico. La correlación litoestratigráfica permite analizar e interpretar la génesis, sus facies, su continuidad o discontinuidad lateral, la geometría donde se depositó dicha unidad litoestratigráfica, y el paleoambiente para definir la evolución de la Cuenca Sedimentaria.

Dicho estudio servirá como base para posteriores estudios. Ya que lo podrán utilizar diferentes instituciones interesadas tanto estatales como privadas, la comunidad científica y la población estudiantil de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica y demás personas ligadas a rama de la sedimentología y estratigrafía.

La finalidad de la presente investigación es analizar los diferentes procesos que han intervenido en su ambiente de depositación.

La estructura los principales capítulos desarrollados en la investigación es: En el CAPÍTULO II, presentamos los principales antecedentes relacionados a la investigación donde destacamos los estudios realizados en Cajamarca (TERRONES, 2014) y en Hualgayoc (MEDINA, 2014) , teniendo como base teórica fundamental el Sistema Gráfico de Correlación de Shaw.

En el CAPÍTULO III, presentamos la metodología de investigación definiendo a cada variable de investigación, en donde nos centramos en describir litoestratigráficamente a la Formación Yumagual, encontrando 6 facies litoestratigráficas, las cuales presentan secuencias de sedimentación directa, inversa y rítmica. Las principales rocas aflorantes son las calizas de tipo Wackstone, packstone, grainstone, margas y arcillitas. Esta presenta estructuras de sedimentación tales como Load Casts, Scour Marks, laminaciones, bioturbaciones y huellas de lluvia. Según el Sistema Gráfico de Correlación de Shaw esta se correlaciona en las tres zonas, aunque con la diferencia en su espesor y su tasa de sedimentación.

En el CAPÍTULO IV, se discute los resultados obtenidos en campo para definir si es o no correlacionable y contrastar con la hipótesis las características, litología, facies, ambiente, espesores los que nos indican el tipo de ambiente de sedimentación en una plataforma marina. Llegando a concluir que la hipótesis planteada si es correcta.

Finalmente en el CAPÍTULO V, se dan las conclusiones y recomendaciones para realizar un análisis de cuencas a nivel regional y estudios petrográficos a detalle para definir mejor los tipos de rocas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Nacionales

JAILLARD, 1990. "Evolución de la Margen Andina en el Norte del Perú desde el Aptiano Superior hasta el Cenoniano". La transgresión del Aptiano Superior fue general que estuvo asociada a una inestabilidad tectónica local, que culminó con la regresión que fue la base para el Cenomaniano medio y con la emersión del arco volcánico.

JAILLARD, 1992. "La Fase Peruana (Cretácico Superior) en la Margen Peruana". La fase peruana tal como ha sido definida, resultaría de tres fenómenos coetáneos : (1) la regresión eustática del Cretácico Superior; (2) el levantamiento lento y progresivo de la margen, sobre la cual las transgresiones eustáticas se extendieron cada vez menos, mientras que las regresiones eustáticas tuvieron efectos cada vez más importantes; y (3) fases tectónicas compresivas de más breve duración, particularmente las del límite Turoniano-Coniaciano, del límite Coniaciano-Santoniano, y del Campaniano Superior. Durante dichas fases compresivas, las estructuras paleogeográficas extensionales fueron re-utilizadas en fallas inversas. Eso explicaría la ubicación de las deformaciones mayores en las fronteras paleogeográficas.

TAFUR, 1950. "Nota preliminar sobre la geología de Cajamarca". Describe las correlaciones estratigráficas y ubica en el tiempo geológico. Clasificación Bioestratigráfica de la Cuenca Cajamarca (Período Cretácico Superior e Inferior).

BENAVIDES, 1956. "El sistema Cretáceo en el Norte del Perú". En su libro Geología de Cajamarca, tuvo como objetivo interpretar las características geológicas y estratigráficas a nivel regional del área de Cajamarca.

RIVERA, 1980. Cuadrángulo de Cajamarca \ San Marcos - Cajabamba. Análisis Regional Sedimentológico en la Cuenca Cajamarca, a escala 1:100,000 realizado por geólogos de Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Perú. Quienes definieron la presencia de grandes Unidades geológicas como el Mesozoico y Cenozoico.

Locales

LAGOS y QUISPE 2007 . Aportes al análisis de Cuencas Sedimentarias en los Alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca, XIII Congreso Peruano de Geología. Trabajo que trata sobre el comportamiento de la Cuenca Occidental, en el proceso de relleno sedimentario desde el Barriasiano-Valanginiano (Cretácico Inferior) hasta el Santoniano- Campaniano (Cretácico Superior).

FERNÁNDEZ, 2010. Tesis Profesional "Estudio Sedimentológico y Estratigráfico en el Área de Cruz Blanca y Alrededores". Realiza la descripción detallada del Cretácico Inferior en el área de Cajamarca a través de correlación estratigráfica. Acompañado de un análisis paleontológico de la zona de estudio, habiendo calculado la descompactación para analizar los ratios de subsidencia con respecto a la Curva de descompactación.

MEJÍA, 2012. Estudio Sedimentológico y Estratigráfico del Caserío de Puylucana – Otuzco Cajamarca - 2012. Describe todas las Formaciones aflorantes desde Puylucana\Otuzco, detallando el comportamiento litoestratigráfico y estructural. Actualiza la columna según la edad y al piso en el que corresponden, identificando los tres miembros de la Formación Yumagual.

RIVAS, 2014 "Caracterización Sedimentológica y Estratigráfica del Cretácico en el área de Huayllapampa, Cajamarca-Perú". Elabora columnas estratigráficas y las correlaciona, a través de la aplicación de Análisis de Cuencas Sedimentarias del Sistema Cretácico en el área de Huayllapampa en Cajamarca Perú. Concluyendo a través de la correlación estratigráfica que se originó en un ambiente de poca profundidad.

MEDINA, 2014. Estratigrafía Secuencial de la Formación Yumagual en el distrito minero de Hualgayoc- Cajamarca. Realiza un estudio a detalle 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 estaría en un mar de poca profundidad.

TERRONES, 2014. Estudio Litológico y Paleontológico de la Formación Yumagual en el Distrito de Cajamarca. . Realiza un análisis, clasificación e identificación de las unidades litobioestratigráficas para poder determinar el paleoambiente de dicha Formación.

FERNÁNDEZ, 2015. Correlación Litobioestratigráfica de la Formación Inca en los sectores Chamis, Corisorgona, Puyllucana - Cajamarca. Determina que existe correspondencia entre las unidades litoestratigráficas y características bioestratigráficas de la Formación Inca en los sectores estudiados. La Formación Inca pertenece a una fase transicional marina, representando el inicio de la transgresión en el Albiano del Cretácico Inferior al presentar secciones de sedimentación clástica a carbonatadas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Principios de la Estratigrafía

2.2.1.1. Horizontalidad de los estratos

Determina que los estratos en el momento de su depósito son horizontales y paralelos a la superficie de depósito (horizontalidad original) y que quedan delimitados por dos planos que muestran continuidad lateral. Los estudios recientes sobre la geometría de los estratos tanto en el campo como, especialmente, por técnicas del subsuelo permiten conocer excepciones a este principio en las que los estratos se disponen paralelos a las superficies de depósito pero no necesariamente horizontales, sino más bien con una ligera inclinación original.

El principio es básico para la ordenación temporal de los estratos (o conjuntos de estratos) subhorizontales y se puede aplicar a los materiales estratificados en los que la deformación tectónica posterior a su depósito no implique la inversión de estratos.

2.2.1.2. Principio de superposición de los estratos

El principio es básico para la ordenación temporal de los estratos (o conjuntos de estratos) subhorizontales y se puede aplicar a los materiales estratificados en los que la deformación tectónica posterior a su depósito no implique la inversión de estratos. Existen algunas excepciones donde no se cumple el principio, siempre ligadas a discontinuidades que impliquen etapas de erosión de materiales previos, de manera que los sedimentos nuevos se depositen en cavidades excavadas en el seno de los otros (p. ej. cuevas).

En la actualidad, este principio se usa con gran frecuencia, aunque apoyándose además en el uso de criterios de polaridad vertical, y constituye la base del levantamiento de secciones estratigráficas, técnica por otra parte fundamental en todo estudio estratigráfico. (Steno, 1668)

2.2.1.3. Principio del Uniformismo o Actualismo

Emitido por Hutton y desarrollado más ampliamente por Lyell, señala que los procesos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra han sido uniformes (Uniformismo) y semejantes a los actuales (actualismo). El desarrollo de la teoría originaria lleva a su correcta aplicación como método de trabajo con algunas ligeras correcciones.

Una primera es considerar que los procesos no son totalmente uniformes, sino que han cambiado en el ritmo e intensidad, y además en ellos hay un factor no repetible como es los organismos que han ido cambiando de manera lineal (no cíclica) de acuerdo con las pautas establecidas en la teoría de la evolución. La interpretación de los materiales sedimentarios antiguos por comparación con los actuales, es una de las aplicaciones fundamentales de este principio.

Igualmente el principio del actualismo, aunque tomando como referencia "actual" un intervalo de tiempo largo (p.ej. el Cuaternario) constituye la base de muchas de las interpretaciones estratigráficas. La frase originaria con la que se simplifica este principio "el presente es la clave del pasado" ha sido parafraseada por Matthews (1974) diciendo "el Cuaternario es la clave del pasado".

2.2.1.4. Principio de la Sucesión Faunística

Emitido, por Smith, y desarrollado por Cuvier, constituye la base de la datación relativa de los materiales estratificados. Consiste en admitir que en cada intervalo de tiempo de la historia geológica (representado por un conjunto de estratos o por formaciones), los organismos que vivieron y, que por tanto pudieron fosilizar, fueron diferentes y no repetibles. Este principio permite establecer correlaciones (comparaciones en el tiempo) entre materiales de una misma edad de contextos geográficos muy distantes ya que muchos de los organismos tenían una extensión horizontal prácticamente mundial.

2.2.1.5. Principio de la Simultaneidad de Eventos

Al contrario de los cuatro anteriores se trata de un principio emitido formalmente hace poco más de un decenio, como consecuencia de la reiterada constatación de hechos significativos reflejados en el registro estratigráfico. Se

basa en la doctrina del "catastrofismo actualista" (Vera, 1990) o "nuevo uniformismo" (Berggren y Van Couvering, 1993).

Sin embargo, se pueden encontrar antecedentes de este principio, a finales del siglo XVIII, en las ideas de Werner y sus discípulos quienes defendían la contemporaneidad global de las catástrofes que determinaban los límites de las grandes divisiones geológicas. Igualmente se pueden encontrar precedentes de este principio en las ideas de Cuvier para explicar el origen de los yacimientos fosilíferos.

Consiste en aceptar que en la naturaleza ocurrieron en tiempos pasados fenómenos normales como los que vemos en la actualidad pero además otros raros y eventuales (eventos) que mayoritariamente coinciden con las grandes catástrofes. Estos eventos (p. ej. cambios climáticos, cambios del nivel del mar, cambios en el campo magnético terrestre, grandes terremotos, explosiones de volcanes, etc.) pueden quedar reflejados en los estratos de muy diferentes localidades, constituyendo de esta manera un excelente criterio de correlación, a veces a una escala mundial.

2.2.1.6. Principio de Correlación de Facies (1838)

Llamada así por el Geólogo Johannes Walther, establece que la sucesión vertical de Facies (sin discontinuidades Estratigráficas) refleja la misma secuencia de Facies que se formaban lateralmente en el medio sedimentario. Se debe a que cuando hay cambios en un ambiente sedimentario \ diferencia de aportes, subsidencia, variación del nivel del mar, etc. Las Facies que estaban sedimentándose adyacentes y yuxtapuestas se depositan encima de las otras, superpuestas, respetando el mismo orden o polaridad que tenían sobre la superficie de deposición.

2.2.2. Tipos de Estratificación

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

2.2.2.1. 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 una 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 con la pérdida progresiva de espesor.
- e) **Estratos Lenticulares.** Son discontinuos, con el muro plano y el techo convexo, su variante son estratos de forma biconvexa.
- f) **Estratos Ondulados.** Se caracterizan por ser continuos con muro plano y techo ondulado, con estructuras de ripples de corrientes. (VERA, 1994).

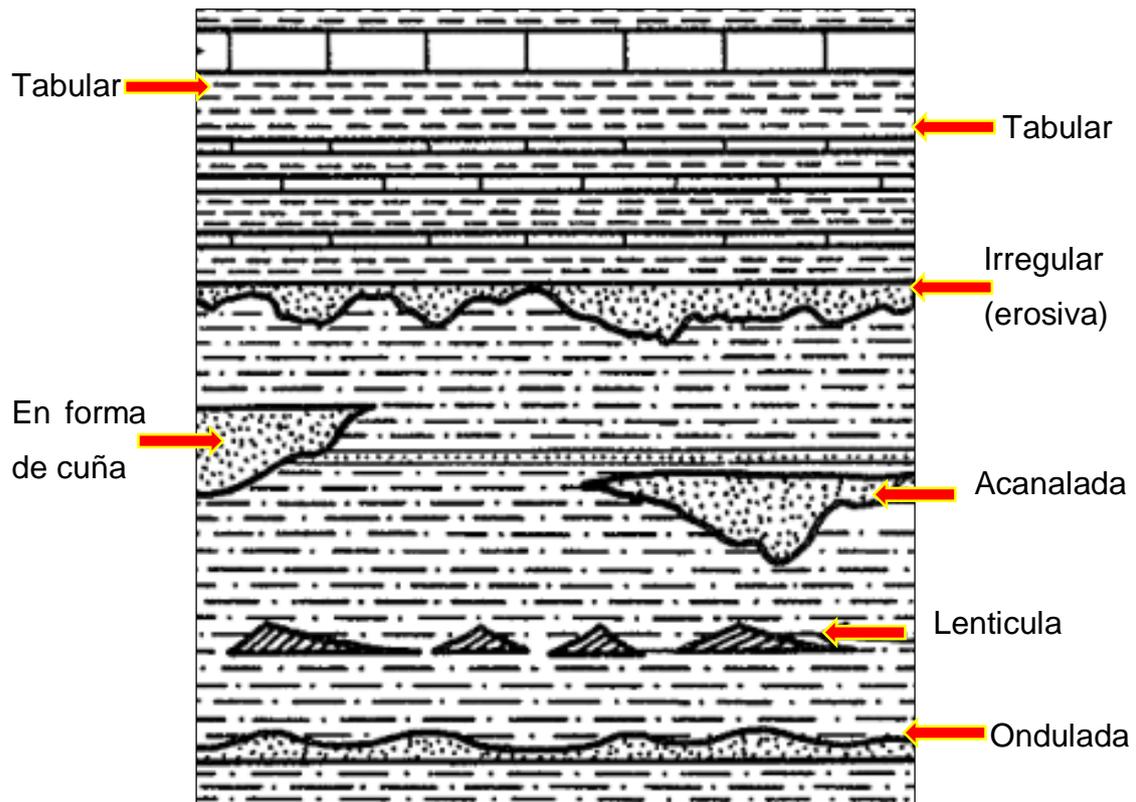


Figura 1: Geometría de los estratos, de acuerdo con su continuidad, forma de las Superficies de estratificación y variación lateral de espesor. (Vera, 1994).

2.2.2.2. Asociación de estratos

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

- Uniforme.** Los espesores de los estratos sucesivos tienen unos valores análogos, con un valor real muy cercano a la media estadística de todos los espesores.
- Aleatorio o de Espesor Variable.** Los espesores de los diferentes estratos superpuestos son muy variables y no presentan ninguna ordenación definida.
- Estrato Creciente.** Los espesores tienen una ordenación en lotes de estratos con valores de espesores crecientes hacia el techo, dentro de cada lote. A este tipo de ordenamiento también se le conoce con el nombre de secuencia negativa (LOMBARD, 1956).

- d) **Estrato Decreciente.** Presenta disminución de los espesores de los estratos hacia el techo en cada lote. A 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. (Vera, 1994)

2.2.3. Facies Sedimentarias

El concepto de Facies en Estratigrafía y Sedimentología lo introdujo formalmente Gressly (1838) para denominar así a “La suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica”.

En el caso del estudio del registro sedimentario pueden reconocerse diversos enfoques en la definición de una facies, algunos tienen un carácter interpretativo y otros de carácter descriptivo y objetivo.

La utilidad del concepto de facies radica en que constituye un elemento útil para describir los atributos que poseen las rocas sedimentarias. De este modo, definir facies con criterio interpretativo es metodológicamente incorrecto, lo apropiado es hacerlo sobre la base de criterios objetivos y descriptivos. (Vera, 1994).

Para la presente investigación se entenderá como “El conjunto de características litológicas y paleontológicas que definen una unidad estratigráfica o conjunto de estratos”. Se hace extensivo el uso de este término para denominar al conjunto de características genéticas reinantes durante el depósito, que quedan reflejadas en los materiales y pueden ser deducidas de su estudio litológico y paleontológico.

2.2.3.1. Tipos de Facies

Desde el punto de vista restrictivo al tipo de propiedades o de la escala de observación podemos distinguir:

- a) **Litofacies:** Se usa para aludir exclusivamente a los aspectos litológicos (no a los paleontológicos) de un conjunto de estratos y correlativamente para

las condiciones físico\químicas (no biológicas) que reinaron durante un depósito.

- b) **Biofacies:** Es el complemento ya que se refiere a los aspectos paleontológicos (no los litológicos) y a las condiciones biológicas reinantes durante el depósito.
- c) **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 observables al microscopio en lámina delgada y, correlativamente, a las condiciones genéticas que controlaron su depósito.

2.2.3.2. Facies Carbonatadas

No existe una clasificación de uso general de facies carbonatadas. En la clasificación propuesta cada tipo de facies tiene una letra mayúscula alusiva al tipo textural (M.- mudstone, W.- wackestone, P.- packstone, G.- grainstone), mientras que para los diferentes tipos de calizas arrecifales se usa doble letra alusiva al tipo textural (BA. bafflestone, BI.\ bindstone, FR.\ framestone, FL.\ floatstone, RU. Rudstone) y para rocas afines se usan de nuevo iniciales (B.\ brechas, M.\ margas, C.\ calcarenita). (Vera, 1994).

2.2.3.3. Asociación de Facies

Grupo o conjunto de Facies que guardan una clara relación física y genética entre sí. El concepto involucra tanto a las relaciones verticales como laterales entre las facies. El concepto de asociación de facies es fundamental para definir mecanismos de formación de los depósitos sedimentarios, así como proponer modelos sobre sistemas de depositación y ambientes de acumulación. (Vera, 1994)

Entre los principales tipos de asociación de facies encontramos

A: Multiepisódica, **B:** Bandeada, **C:** Bandeada Discíclica, **D:** Asimétrica Positiva (Granodecreciente), **E:** Asimétrica Negativa (Granocreciente).

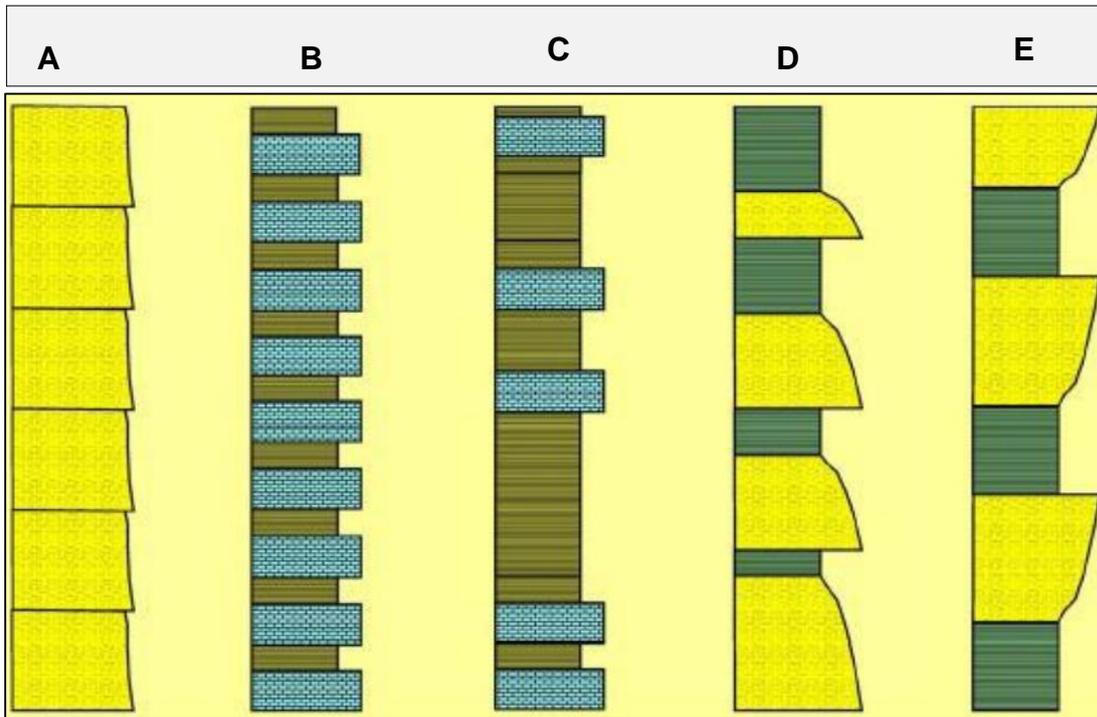


Figura 2: Asociación de facies. (Buatois, 2002)

2.2.4. Ambiente Sedimentario

Conjunto de factores (cuenca, aporte de sedimento, clima y tiempo geológico), que permiten la depositación de sedimentos y que por procesos posteriores dará como resultado un cuerpo de rocas definibles.

Cuadro 1: Clasificación de los tipos de ambiente sedimentarios marinos.

Medio ambiente	Agente de precipitación	Sedimento
continental		
evaporítico	evaporación del agua lacustre	halita, nitratos, sales
pantanosos	vegetación	turba
costero y marino		
carbonatado	esqueletos de organismos	arenas y lodos carbonatados
evaporítico	evaporación de aguas marinas	yeso anhidrita y sal
sílica: marino profundo	esqueletos de organismos	sílice

(Fuente: Pisconte, 2014).

2.2.5. Ley o regla de Walther

“Las Facies que se encuentran superpuestas se encuentran también yuxtapuestas con la misma ordenación”. La Ley de Facies de Walther (1894) nos indica que las Facies que aparecen dispuestas en sentido vertical

(asociaciones de facies) deben haber sido el producto de ambientes asociados espacialmente. De este modo, dichas Facies han sido formadas en ambientes lateralmente adyacentes.

La Ley de Walther tiene una limitación (limitante de Middleton, 1973) y es que debe aplicarse a sucesiones en las que no aparezcan interrupciones o discontinuidades mayores. La Ley de Walther es esencial para: Efectuar interpretaciones dinámicas en el modelado de los ambientes sedimentarios y realizar estudios espaciales sobre la base de correlaciones. (Walther, 1984).

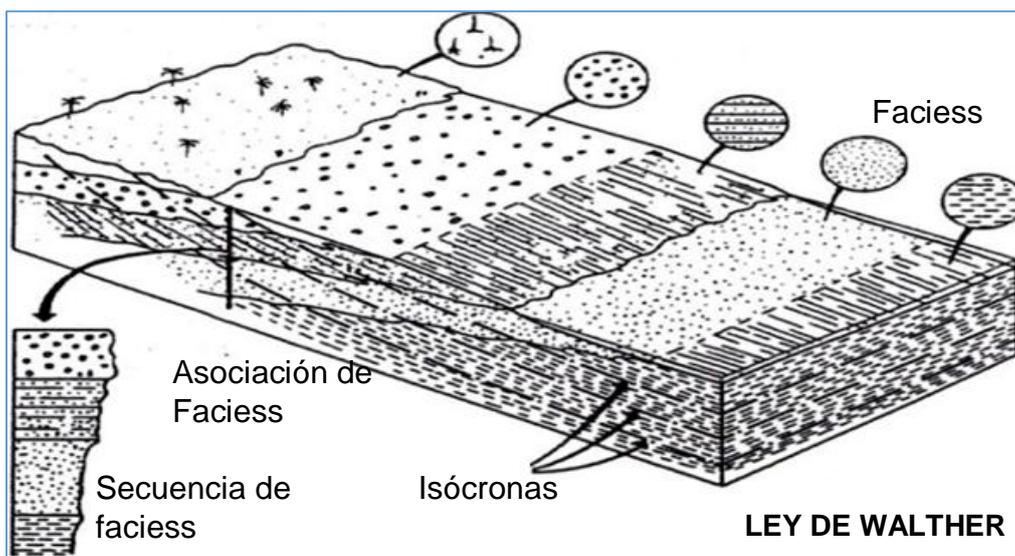


Figura 3: Aplicación de las Ley de Walther (Vera, 1994)

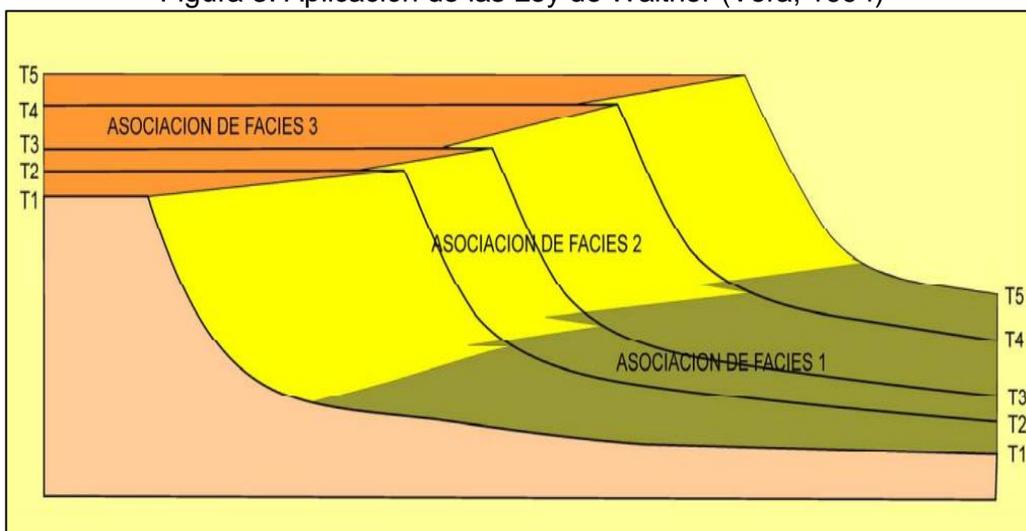


Figura 4: Ley de Walther, contactos entre asociaciones de facies y tiempo de sedimentación (Caballero, 2012)

2.2.6. Medida de la Estratificación

El estudio de la estratificación, bajo su aspecto geométrico, permite realizar la medida de tres valores: dirección (ángulo que forma con el norte geográfico la línea de intersección de la superficie de estratificación con un plano horizontal); buzamiento (ángulo que forma la superficie de un estrato con la horizontal, medido en un plano perpendicular a la dirección); y espesor de un estrato (distancia entre los planos de estratificación que lo limitan, medida perpendicularmente a ellos).

En condiciones normales el espesor de un conjunto de estratos, será la distancia entre sus límites medida perpendicularmente a ellos y representa el espesor actual de los materiales sedimentados durante un determinado intervalo de tiempo.

El problema se plantea cuando la sedimentación se realiza sobre una pendiente deposicional, sobre la que los estratos se apilan lateralmente; pues si bien el espesor del conjunto de estratos valora el espesor real de los materiales sedimentados durante un lapso de tiempo, la potencia de la unidad distinguida corresponde a la altura actual que comprende dicha unidad, medida sobre la vertical del depósito en el momento de la sedimentación.

A continuación se presentan un método con los cuales se puede medir el espesor de los estratos, de esta manera se realiza el levantamiento de columnas estratigráficas.

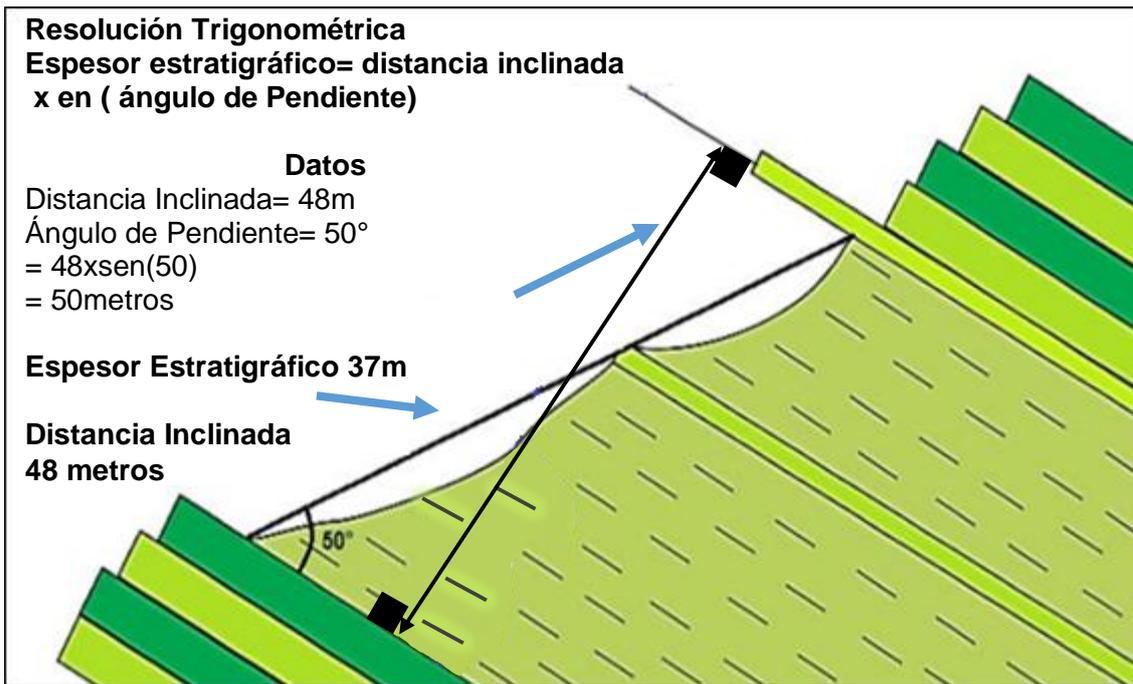


Figura 5: Medición de Estratos (Krumbein y Sloss – 1969).

2.2.7. La Columna Estratigráfica

Las columnas estratigráficas son representaciones de las variaciones verticales que presentan los cuerpos rocosos en un determinado sitio o región. La comparación entre columnas estratigráficas de diversos sitios o regiones permite conocer los cambios horizontales que presentan los cuerpos rocosos. Se obtienen a partir de: Tienen un carácter cronológico y un sentido reconstructivo sedimentológico. (Caballero, 2012).

Una Sección Estratigráfica es la sucesión cronológica de todas las unidades estratigráficas presentes en una región, ordenadas de más antigua a más moderna, esto es, en el orden que ocurrió su depositación. En la interpretación de secciones estratigráficas se usa el término "secuencia elemental" (secuencia de facies) y en la interpretación de una cuenca sedimentaria se utiliza "secuencia deposicional", para denominar a unidades estratigráficas genética se utiliza el término "sucesión estratigráfica" de uso frecuente en la nomenclatura geológica se considera como sinónimo "columna estratigráfica" se usa para nombrar a la parte esencial de la representación gráfica de las secciones estratigráficas, concretamente aquella que muestra la sucesión de conjuntos de estratos. (GEI, 1980).

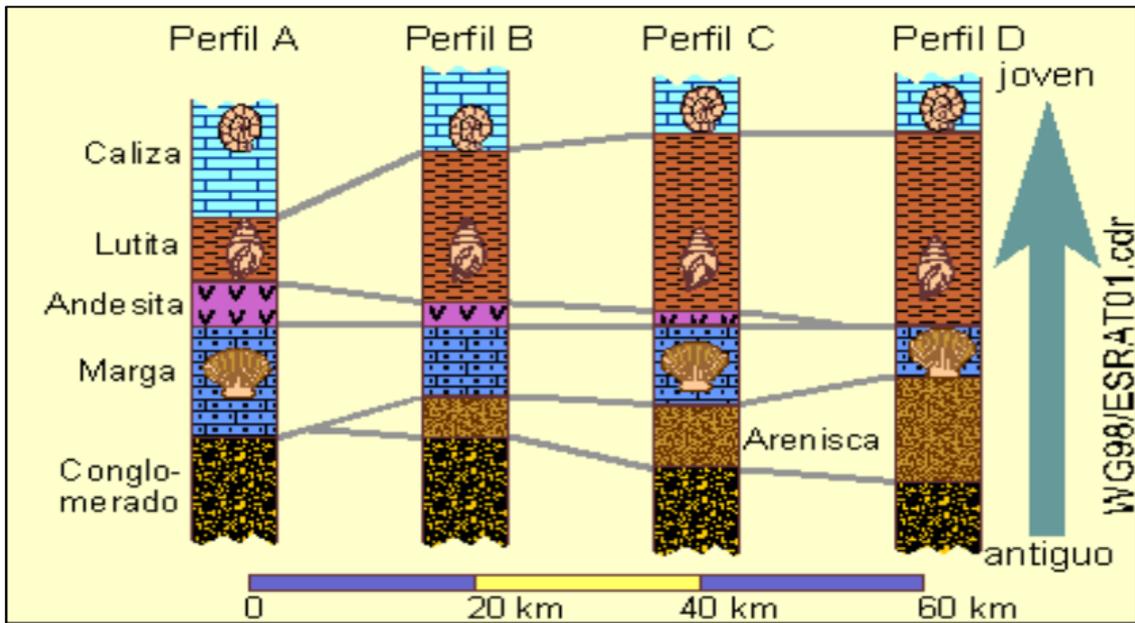


Figura 6: Modelo de Correlación Litoestratigráfica. (Milley y Stones, 2006).

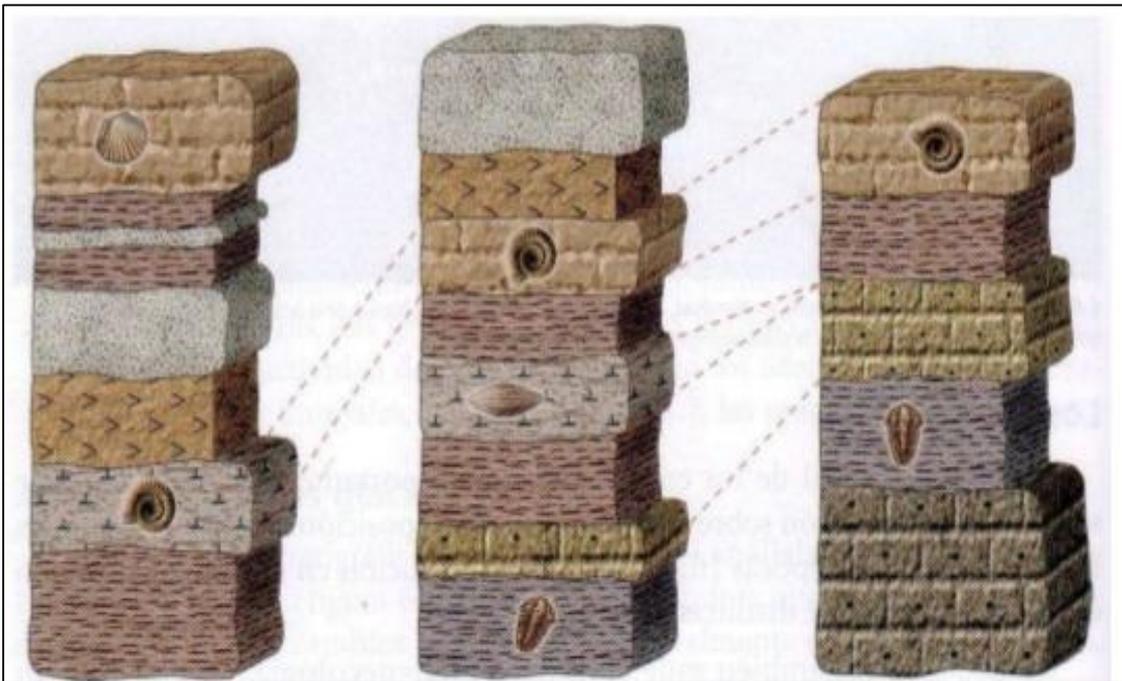


Figura 7: Modelo de Correlación Bioestratigráfica. (Milley y Stones, 2006).

2.2.8. La Correlación Estratigráfica

La correlación estratigráfica 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 (Vera, 1994). El objetivo fundamental de la correlación estratigráfica es ampliar la validez de los datos estratigráficos locales (Vera, 1994). La correlación estratigráfica es la “demostración de la equivalencia de dos o más fenómenos geológicos en diferentes áreas”.

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. (Bates y Jackson, 1987).

La correlación estratigráfica entre dos o más secciones estratigráficas locales relativamente cercanas entre sí, permite reconstruir la geometría de las unidades litoestratigráficas, valorar su posición en el tiempo conocer sus cambios laterales, etc. Las correlaciones entre secciones estratigráficas más distantes, pero dentro de una misma cuenca sedimentaria (correlación regional) constituye el elemento esencial para realizar el análisis estratigráfico de la cuenca incluido el estudio paleogeográfico de la misma.

Las correlaciones entre secciones estratigráficas de áreas geográficas muy distantes entre sí (correlación global), tiene una doble utilidad. Por una parte contribuye a engrosar el banco de datos necesarios para elaborar la sección estratigráfica ideal del conjunto de la Tierra, a la que se ha llamado “registro estratigráfico”. Por otra parte permite valorar si los rasgos estratigráficos reconocidos en una sección estratigráfica concreta son debidos a fenómenos autocíclicos o alocíclicos (incluidos los globales).

2.2.8.1. La Litocorrelación

Llamada también correlación litológica (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.

Se basa en el estudio de los cambios litológicos bruscos y en la presencia de algunos niveles de litologías especiales detectables a simple vista, es un método muy utilizado ya que toma en cuenta las características litológicas de las unidades rocosas. (Arellano, 2004)

2.2.9. Sistema Gráfico de Correlación de Shaw

A.- Correlación lineal de dos perfiles con la misma potencia; con la letra d se marcan los niveles diacrónicos (aquellos que se separan de la línea de correlación). B.- Correlación entre dos perfiles en la que el perfil X tiene una mayor potencia (mayor tasa de sedimentación). C.- Correlación entre dos perfiles en la que el perfil Y tiene una mayor potencia. D.- Modo gráfico de detectar y cuantificar un hiato en el perfil X. E.- Modo gráfico de detectar y cuantificar un hiato en el perfil Y.

Las dos secciones o perfiles estratigráficos (X e Y) se colocan en un eje de coordenadas. El eje de las coordenadas se hace coincidir con una superficie de correlación isócrona reconocible en la base de cada una de las secciones. A partir de ella se van comparando los diferentes niveles de carbón y se traza la línea de correlación. Todos los puntos que queden situados sobre esta línea o muy cercanos se consideran isócronos en ambas secciones. (Vera, 1994)

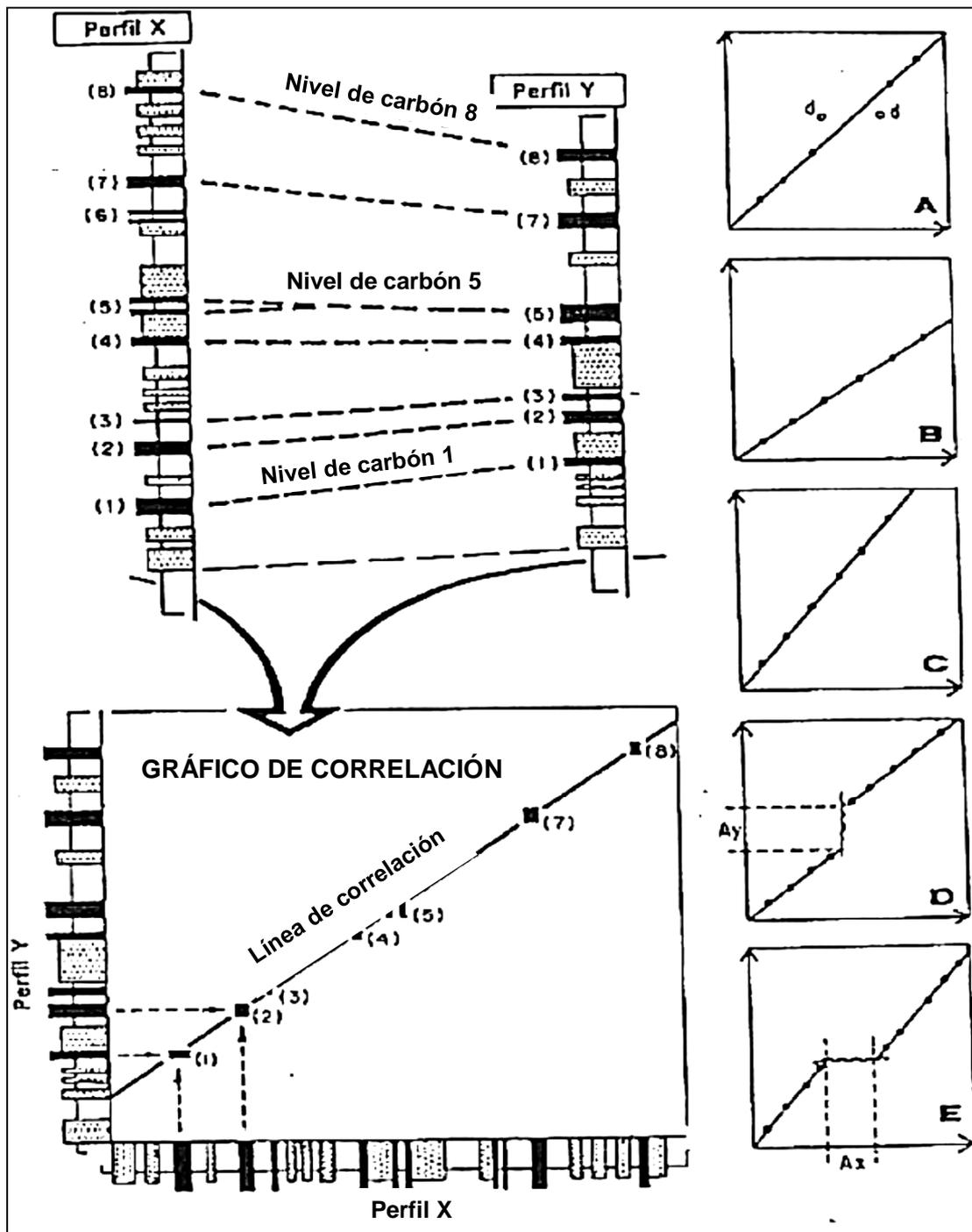


Figura 8: Ejemplo de Litocorrelación entre dos secciones estratigráficas con niveles de carbón, dentro de una misma cuenca. (Shaw, 1988).

2.2.10. Rocas sedimentarias carbonatadas

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

Reconocemos calcita con bajo contenido en magnesio (llamada simplemente calcita) conteniendo menos del 4% de carbonato de magnesio y calcita con alto contenido de magnesio conteniendo más del 4% de carbonato de magnesio. Existe otro tipo de roca denominada marga. La marga se compone de carbonatos y arcillas. Según las relaciones cuantitativas se distingue marga arcillosa, marga y marga calcárea. Normalmente el carbonato es presentado por calcita, a veces por dolomita. Componentes adicionales pueden ser cuarzo, mica y compuestos carbonosos. La marga frecuentemente lleva nódulos de yeso, calcita y piritita, es de color gris claro hasta oscuro, café o verdoso, frecuentemente contiene fósiles pequeños (Sam y Boggs, 2006).

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

2.2.10.1. Clasificación según Folk (1959,1962)

- Clasifica el sedimento.
- Se basa en el porcentaje de los dos tipos de elementos texturales en las rocas carbonatadas:
 - Ortoquímicos: matriz y cemento
 - Aloquímicos: granos

[CALIZAS ORTOQUÍMICAS]		[CALIZAS ALOQUÍMICAS]				
MATRIZ ↑ ± GRANOS ↓ (<10 %)		GRANOS ↑ (>10 %)				
GRANOS <1 %	GRANOS <10 %	+ MATRIZ	+ CEMENTO			
MICRITA 	MICRITA INTRACLÁST.	INTRA-MICRITA	INTRA-ESPARITA	> 25 % INTRACLASTOS		
	MICRITA OOLÍTICA	OO-MICRITA	OO-ESPARITA	> 25 % OOIDES		
	MICRITA FOSILÍFERA	BIO-MICRITA	BIO-ESPARITA	FOS / PEL > 3 / 1	< 25% OOIDES	INTRA CLASTOS
		BIOPEL-MICRITA	BIOPEL-ESPARITA	3/1 < FOS/PEL > 1/3		
DISMICRITA 	MICRITA CON PELLETS	PEL-MICRITA	PEL-ESPARITA	FOS / PEL < 1 / 3		

Figura 9: Clasificación de las rocas carbonatadas. (Folk 1962)

2.2.10.2. Clasificación según Dunham (1962)

Criterio utilizado: porcentajes relativos de granos y de barro (presencia o no de micrita) y su disposición (fabrica). La clasificación de Dunham no hace referencia al tamaño de los granos ni al tipo de estos; se suele hacer, sin embargo, mención de ello.

Ejemplo: grainstone oolítico, o packstone de crinoides. Esta clasificación presenta como ventaja su fácil utilización en terreno. Debido a que los nombres son colocados dependiendo de la textura depositacional de la roca, tienen connotaciones en cuanto a indicación de energía en el medio sedimentario; grainstone: sedimentos muy lavados, mudstone: sedimentos propios de aguas no agitadas.

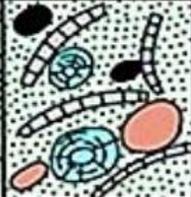
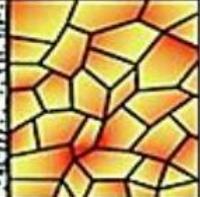
Textura deposicional reconocible					Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación				Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción	
Con barro micrítico			Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico		
Esqueleto matriz-soportado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

Figura 10: Clasificación de las rocas carbonatadas según Dunham (modificado del 1962).

La clasificación es la siguiente:

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 rodoíceas, cianobacterias.).
- 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.
- Carbonatos cristalinos cuya textura deposicional no es reconocible.

2.2.10.3. Clasificación de Friedman (1965)

Esta clasificación es útil para calizas y dolomías cristalinas, en las que no se aprecia la textura depositacional. En ella se considera la textura cristalina (forma de los cristales) y la fábrica cristalina (dimensión y relaciones mutuas entre cristales). El autor propone los siguientes términos texturales:

- **Equigranular:** los cristales tienen aproximadamente las mismas dimensiones.

Dependiendo de la forma de los cristales, a su vez la textura podría ser:

- ✓ Xenotópica (cristales anhedrales).
- ✓ Hipidiotópica (cristales subeuhedrales)
- ✓ Idiotópica (cristales euhedrales)

- **Inequigranular:** los cristales tienen dimensiones diferentes. Igual que en el caso anterior, dependiendo de la forma de los cristales, la textura podría ser:

- ✓ Xenotópica (cristales anhedrales).
- ✓ Hipidiotópica (cristales subeuhedrales).
- ✓ Idiotópica (cristales euhedrales).

En cada uno de estos tres últimos casos, las relaciones mutuas entre los cristales pueden ser: **poiquilotópica**, cuando los cristales son de gran tamaño y engloban a cristales más pequeños, y **porfirotópica**, cuando los cristales son de tipo porfiroblástico, y se distinguen por su contraste con el resto de los cristales de la roca.

2.2.10.4. Clasificación de Embry y Klovan (1971)

Esta clasificación complementa la clasificación de Dunham, añadiendo cinco nuevos tipos:

- **Rudstone:** Textura grano\soportada, en la que los "clastos" tienen un tamaño > 2 mm y están en una proporción superior al 10%.
- **Floatstone:** Textura matriz\soportada, en la que los "clastos" tienen un tamaño > 2 mm y están en una proporción superior al 10%.

Dentro de los *boundstones* diferencian los siguientes tipos:

- **Framestone:** Tipo de bioconstrucción en la que los organismos construyen armazones rígidos (Ej.: arrecifes de corales).
- **Bindstone:** Tipo de bioconstrucción por organismos (esqueléticos o no) que incrustan y atrapan el sedimento (Ej.: estromatolitos).
- **Bafflestone:** Tipo de bioconstrucción en la que los organismos atrapan sedimento por efecto pantalla (Ej.: *mud mounds*).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

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

Sucesión Estratigráfica: Se trata de estudiar los materiales del estrato, la delimitación de la unidad, ordenación temporal, a fin de levantar una serie estratigráfica de los estratos de la localidad, lo más exacta posible. La ordenación temporal se lleva a cabo colocando los más antiguos abajo y los más modernos arriba. (Dávila, 2011).

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

Ambientes Sedimentarios: Los ambientes sedimentarios son zonas de la superficie terrestre donde pueden acumularse sedimentos. Los ambientes sedimentarios se clasifican en Continentales (desértico, glaciar, aluvial, fluvial, lacustre); Marinos (plataforma, talud, llanura abisal); y de Transición (deltaico, playero, estuarino). (Torres, 1994).

Correlación Litoestratigráfica: Comparación de 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. (Bates y Jackson, 1987).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica

Geográficamente la zona de estudio abarca tres sectores localizados en la parte Nor Andina en la provincia de Cajamarca en el Perú, a 2720 msnm.

Tabla 1: Ubicación geográfica de las áreas de estudio.

COORDENADAS		
ÁREA	LATITUD	LONGITUD
RONQUILLO	9207801	770912
	9206726	770320
	9206516	771527
	9207549	772140
PUYLLUCANA	9210482	782226
	9210482	783726
	9208882	783726
	9208882	782226
LA ENCAÑADA	9216000	792700
	9216000	794200
	9214400	794200
	9214400	792700

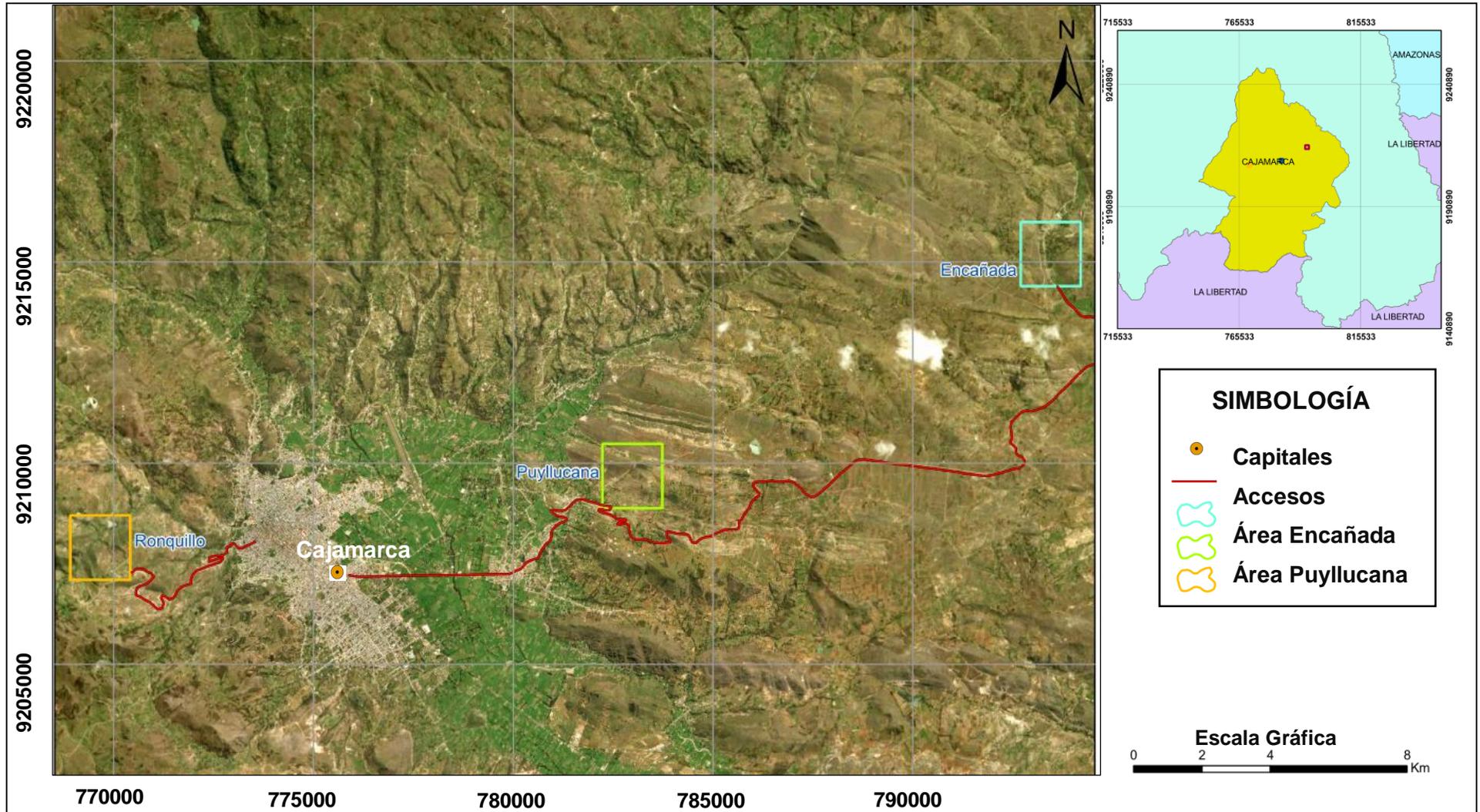


Figura 11: Ubicación Geográfica del área de estudio.

3.1.2. Política

La ubicación de los sectores de estudio corresponde a Ronquillo, Puyllucana y La Encañada, que a continuación detallamos. En el departamento y provincia de Cajamarca, distritos: Cajamarca\ Baños del Inca y La Encañada en los Centros Poblados: Ronquillo y Puyllucana.

- ❖ Departamento: Cajamarca
- ❖ Provincia: Cajamarca
- ❖ Distritos: Cajamarca y La Encañada.
- ❖ Caserío: Ronquillo, Puyllucana y Quinuamayo.

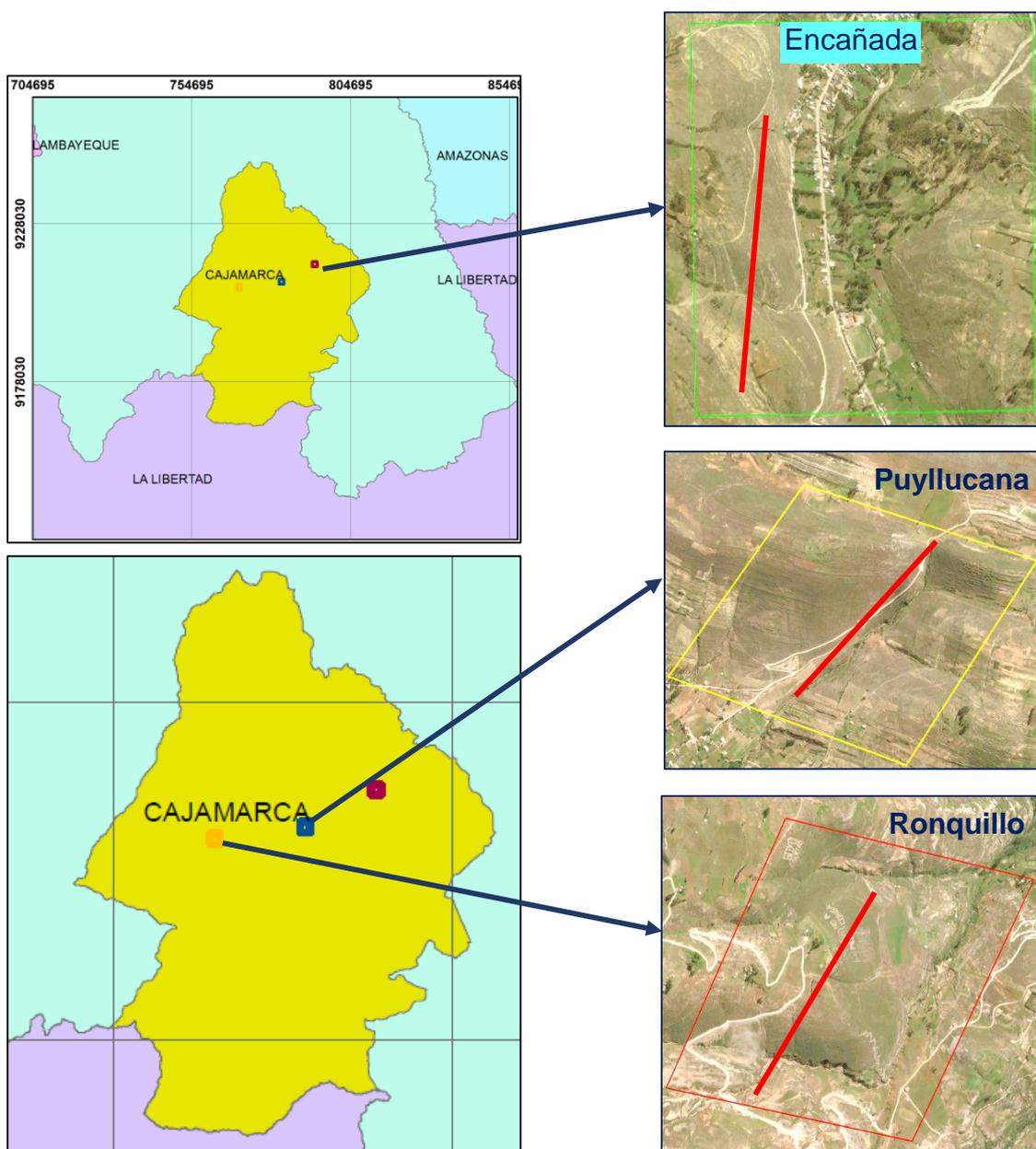


Figura 12: Ubicación Política del área de estudio

3.1.3. Accesibilidad

Las zonas de investigación están ubicadas en Ronquillo, Puyllucana y La Encañada y para llegar se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 2: Accesibilidad a las áreas de estudio.

ZONA	TRAMO	TIPO DE VÍA	DISTANCIA Km	TIEMPO
Ronquillo	Cajamarca – Urubamba	Asfaltada	2.5	40 min
	Urubamba – Ronquillo	Trocha	1	35 min
Puyllucana	Cajamarca – Baños de Inca	Asfaltada	4.5	20 min
	Baños de Inca – Puyllucana\ Zona de estudio	Asfaltada\ Trocha	3	10 min
Quinuamayo	Cajamarca – La Encañada	Asfaltada	12	60 min
	La Encañada – Quinuamayo	Trocha	33	60 min

3.2. PROCEDIMIENTOS

3.2.1. Metodología

Tipo, nivel, diseño y método de investigación

Tabla 2: Clasificación de la investigación adaptado de Supo, 2016.

CLASIFICACIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Según el nivel	Descriptiva y correlacional
Según el diseño	De campo
Según su naturaleza o modo	Cualitativo y cuantitativo
Según su finalidad	aplicativa

3.2.1.1. Población de estudio

Formación Yumagual en los sectores de Ronquillo, Cajamarca y La Encañada.

3.2.1.2. Muestra

Estratos (columnas), estructuras, facies, etc. de la Formación Yumagual en los sectores de Ronquillo, Puyllucana y La Encañada.

3.2.1.3. Unidad de análisis

Medición de facies, espesor, secuencias estratigráficas y cronoestratigrafía.

3.2.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Para la investigación se ha identificado variables independientes y dependientes las cuales se relacionan directamente como se muestra en el cuadro.

Cuadro 3: Definición de las variables de la investigación.

Variables Dependientes	Definición	Factores(Variables Independientes)	Indicadores
Correlación estratigráfica	Características y /o propiedades especiales de cada macizo rocoso o conjunto de ellos	Litología.	Textura Composición química y mineralógica.
	Correlacionar es establecer la correspondencia en carácter y en posición estratigráfica.	Columna Estratigráfica	Facies Estructuras Secuencia
	Es la ciencia que estudia la secuencia o sucesión de las capas o estratos que se han formado a través del tiempo geológico.	Sucesión estratigráfica	Condiciones de depositación. Espesor de los estratos.
	Las unidades crono estratigráficas son establecidas uniendo los límites superior e inferior (crono\horizontes) de la unidad, que deben ser demostrablemente isócronas.	Tiempo Geológico.	Unidad Cronoestratigráfica de la C.S.I (Ma) .

3.2.3. TÉCNICAS

Las técnicas que se han empleado para la recolección de datos serán el análisis documental, la observación, y la medición en campo; mientras que los instrumentos estarán constituidos por fichas como: Fichas para cartografiado geológico, fichas para mediciones estratigráficas, fichas para muestras de campo, fichas para descripción de fósiles.

Cuadro 4: Relación entre las variables, indicadores e instrumentos de recolección de datos.

VARIABLES	INDICADOR	RECOLECCIÓN DE DATOS		
		FUENTE	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Litología	<u>Estructura</u> <u>Textura</u> Composición química y mineralógica.	Datos obtenidos directamente en campo	Medición directa	Formatos para la elaboración de la columna estratigráfica. Tablas de clasificación de rocas carbonatadas.
Columna Estratigráfica	<u>Facies</u> <u>Estructura</u> Facies, secuencia			Flexómetro, libreta, plano geológico, brújula, GPS, etc.
Sucesión Estratigráfica		Bibliografía	Análisis documental	Libros, revistas, artículos científicos.

3.2.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

Para la elaboración de la presente tesis se ha tomado en cuenta la aplicación de técnicas de observación, descripción e interpretación, a través de trabajos de campo y gabinete, así como el empleo de materiales y equipo, los que describimos a continuación.

FICHA N° _____		FECHA: _____									
TESISTA _____		_____									
COORDENADAS: _____											
LOCALIZACIÓN: _____		FORMACIÓN: _____									
TEXTURA: _____		TEXTURA: _____									
DATOS DE CAMPO								INTERPRETACIÓN			
METROS DESDE LA BASE	ESPESOR (m)	SECUENCIA DEPOSICIONAL	LITOLOGÍA	TEXTURA					TIPO DE CONTACTO	OBSERVACIONES	
				Marga	Mudstone	Wackstone	Packstone	Grainstone			Boundstone

Figura 13: Ficha técnica para la recolección de los datos de campo.

Equipos:

Cuadro 5: Equipos de trabajo para el desarrollo de la tesis profesional.

Equipos		
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Imagen Satelital ❖ Planos geológico, topográfico a E: 1:2000. ❖ Flexómetro de 5m. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ GPS: GARMIN ❖ Rayador punta diamante. ❖ GPS Navegatorio: GARMIN ❖ Lupa, Picota geológica. ❖ Brújula brunton. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ácido clorhídrico al 21%. ❖ Libreta de campo ❖ Formato de registro de datos. ❖ Libreta de campo ❖ Cámara fotográfica digital 7Mgp. ❖ Ficha de registro de datos. ❖ Tablas de clasificación de rocas ❖ Bloqueador personal

Los equipos a utilizar en la investigación está determinada por los diferentes planos, para la ubicación se utilizaron un GPS Navegatorio (GARMIN), utilizando las tablas de clasificación de rocas carbonatadas, de Dunham, para diferenciar la litología. Dicho levantamiento se ha utilizado una flexómetro para la medición de los estratos y para la correlación se ha utilizado los datos obtenidos en los tres sectores, y se analizado su ambiente de depositación.

3.3. MARCO ESTRATIGRÁFICO PARA LA CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL

Durante el Cretácico superior, la margen peruana registró varias transgresiones marinas y fases tectónicas compresivas, interpretadas como la “Fase Peruana”. En la margen peruana, la sedimentación del Cretácico empieza con depósitos clásticos fluvio\deltaicos o marinos someros según las edades (Valanginiano\Aptiano), sigue con calizas de plataforma, de medio más somero hacia el Este (Aptiano\Turoniano).

Durante el Cretácico, la margen peruana estuvo dividida en varias zonas paleogeográficas, que son del Suroeste hacia el Noreste : (1) una zona costera, deformada y posiblemente parcialmente emergida desde el Cenomaniano (fase Mochica, 1; Megard, 1984); (2) una cuenca occidental subsidente con depósitos marinos (actual Cordillera occidental) donde ha sido definida la (fase peruana,) (Steimann, 1929); (3) un umbral axial con sedimentación reducida (Geoanticlinal del Marañón, Benavides, 1956; umbral Cuzco\Puno del Altiplano Sur actual, Jaillard, 1993); y (4) una cuenca oriental poco subsidente y con sedimentación mixta, marina y continental (Oriente del Perú Norte y Altiplano Norte, Cordillera oriental y Oriente del Sur del Perú). (Jaillard, 1992)

Después de la sedimentación de las secuencias sedimentarias del Jurásico en el Albiano Superior, Cenomaniano Temprano se da inicio a la formación de la Subducción de la placa de Farallón por debajo de la Sudamericana y con el posterior levantamiento de la Cuenca Peruana la cual corresponde a su vez, a la primera abertura del atlántico Sur a nivel de las placas de América y África (Pindell et al 1990). Que posteriormente se ve relacionado a la Fase Peruana.

Era	Per.	Época	Grupo	Unidad	Espesor	Litología	
CENOZOICA	CUAT.	Holoceno		Dep. Cuaternarios			
		Pleistoceno		Fm. Condebamba	150		
	TERCIARIO	Neógeno			Fm. Cajabamba	200	
					Vol. Huambo	300	
		Paleógeno	Grupo Calipuy		Formación Porculla	1000	
					Formación LLama	1200	
	MESOZOICA	SUERIOR			Fm. Chota	300	
					Fm. Celendín	200	
					Fm. Cajamarca	600 700	
					Fm. Quilquiñan Mujarrun	500	
				Fm. Yumagual	700		
				Fm. pariatambo	150-200		
				Fm. Chulec	200-250		
				Fm. Inca	150		
				Fm. Farrat	500		
				Fm. Carhuaz	300		
CRETÁCICO		INFERIOR		G. Crisnejas			
					Fm. Santa	100-150	
					Fm. Chimú	80-600	
JURASICO	Sup. int.			GRUP. PUCARÁ	700-800		
	Sup.			Fm. Chicama	800-1000		
PALEOZ	PERMIC. TRIAS.	Sup.		GRUP. MITU	300		
				Comp. Marañón			

Figura 14: Ubicación de la Fm. Yumagual dentro de la columna estratigráfica en la zona de Cajamarca.

Después de la gran transgresión del Albiano medio, la cuenca se rellenó de depósitos de mar somero, de esta manera la cuenca en el Cenomaniano, existió una regresión, la cual la sedimentación solo prosiguió en las zonas más distales y profundas bajo la forma de lo que se llamaba, “prisma de bajo nivel ” (ÁLVAREZ, 1994). A pesar de todavía estar ubicado en la plataforma, pues evidencia que la subsidencia ha sido mayor en ese entonces de dicha cuenca, las que se pueden corroborar por las figuras de emersión en el tope de la Formación Pariatambo lo que indican una regresión. Esta está sobreyacida por calizas de plataforma nerítica organizadas en dos secuencias regresivas mayores (BENAVIDES 1956 y JAILLARD 1987).

Esta denominación fue dada por TAFUR (1950) Y BENAVIDES (1956). Suprayace con leve discordancia a la Formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la Formación Mujarrúm y Grupo Quilquiñan indiviso.

La Formación Yumagual consiste en una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en estratos más o menos uniformes, destacando un miembro medio lutáceo margoso, amarillento, dentro de un conjunto homogéneo presenta escarpas elongadas debido a su dureza uniforme. Tiene un espesor aproximado de 700m. Edad y Correlación.- La Formación Yumagual se caracteriza por tener un delgado miembro intermedio bastante fosilífero, por lo que litológicamente puede confundírsele con las Formaciones Mujarrúm o Quilquiñan. (Reyes, 1980)

La Formación Yumagual, Litoestratigráficamente que pertenece a un ambiente de nerítico (fauna variada) de baja energía, con algunos niveles de medio más someros al tope (estromatolitos). (Robert, 2002)

Una regresión se inicia en el norte del Perú con la Formación Yumagual (Albiano Superior Cenomaniano inferior). Son facies de plataforma abierta que pasan a facies de plataforma interna nerítica. La progradación de esta plataforma carbonatada hacia el Suroeste, está asociada a una inestabilidad tectónica local durante el Albiano Superior. Luego facies de areniscas carbonatadas de medio emersivo pasan a facies de plataforma abierta poco profunda, que al norte del

Perú, terminan en calizas de medio intertidal (Formación Mujarrúm, parte temprana del Cenomaniano medio, (Jaillard, 1987)). (Jacay, 2005)

Las mayores etapas de hundimiento, ocurrieron en la parte tardía del Cenomaniano medio, en el Turoniano basal, y en la base del Coniaciano. Esto se debe a la rotación de los polos y a la aceleración de expansión de las placas oceánicas vecinas. En el Cenomaniano inferior 100-95 Ma (CSI); no parecen relaciones claras con eventos geodinámicos. Este evento resulta por la llegada hacia el plano de subducción de la corteza caliente y ligera, formada después del Aptiano superior; y que hubiera inducido una compresión dentro en la placa superior. Dicha Formación se inicia con margas y calizas arcillosas de plataforma externa y termina con calizas biogénicas de plataforma interna muy poco profunda. (JAILLARD, 1990)

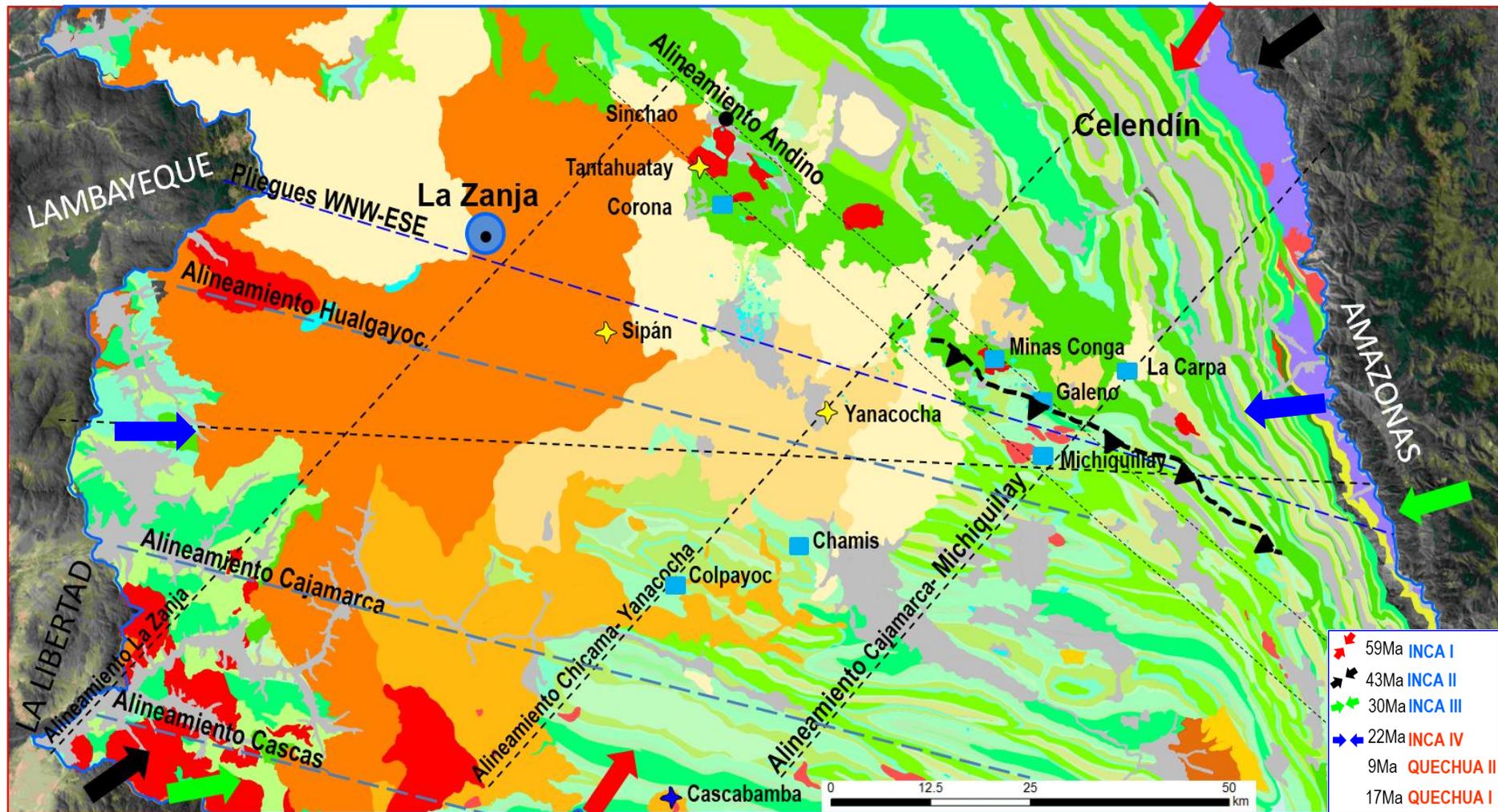


Figura 15: Geología de la zona Cajamarca asociada a las principales estructuras geológicas regionales. Fuente (Elaboración propia)

3.4. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL DISTRITO DE LA ENCAÑADA.

La Formación Yumagual se encuentra aflorando a los costados de los márgenes del río de la Encañada que atraviesa dicho distrito, esta unidad litoestratigráfica presenta tres miembros que presentan las siguientes características.

3.4.1. Unidades Litoestratigráficas del Miembro Inferior

Dicho miembro se encuentra en el contacto entre la Formación Pariatambo y la Formación Yumagual, existiendo un contacto neto concordante y paralelo entre calizas de estratos de mayor espesor en ambas formaciones. Se ha encontrado unas calizas nodulosas, calizas micríticas de grano fino con algunas margas, en estratos más o menos uniformes.

3.4.1.1. Facies Litoestratigráfica: caliza nodulosa (wackstone)- margas – arcillitas

Calizas nodulosas, Se presentan en la base, son pardas y se encuentran alteradas y cubiertas por material cuaternario, la textura que presentan es wackstone, “Facies W”.

Margas: Se presentan en tramos específicos y se caracterizan por su coloración marrón clara, “Facies M”

arcillitas, son ferruginosas hacia la parte final de la sección, en su mayoría no contienen fósiles lográndose una intercalación entre ambos materiales en gran parte de la sección; su origen es de ambiente de menor energía, “Facies L”. Dicha facies se caracteriza por tener una secuencia de margas, calizas tipo wackstone, con pequeñas intercalaciones de arcillitas, en la base presenta un contacto concordante con el techo de la Formación Pariatambo, con presencia de fósiles (bivalvos). Presenta una secuencia directa. Los estratos de las calizas de textura wackstone tienen espesores que varían de 70-80 cm, rellenos con calcita y con niveles de arcillitas de 1.20-1.50 cm de espesor.



Foto 1: Facies de arcillitas intercaladas con calizas wackstones en el miembro inferior de la Formación Yumagual en el distrito de La Encañada.



Foto 2: Nótese las margas del Miembro Inferior de la Formación Yumagual en el distrito de La Encañada.

3.4.1.2. Facies Litoestratigráfica: caliza (grainstone)- arcillitas

Esta Facies se caracteriza por presentar muy poco nivel de arcillitas, en un 10 % del espesor total (20 cm de espesor), mientras que las calizas son de tipo grainstone, de espesores que oscilan entre 1.20 m a 1.45 m. La secuencia es directa.



Foto 3: Facies de arcillitas intercaladas con calizas wackstones en el miembro inferior, en la Encañada.

3.4.2. Unidades Litoestratigráficas del Miembro Medio

Este miembro se encuentra con un contacto concordante planar, el cual está sobreyaciendo a las calizas grainstone, constituyendo una facies de calizas margosa en el piso y sobreyacidas por calizas nodulosas con estratos de arcillitas de 2m- 4m de espesor.

3.4.2.1. Facies Litoestratigráfica: caliza nodular – margas-arcillitas

En esta facies se puede encontrar una asociación de calizas nodulosas las cuales se encuentran intercaladas con margas y arcillitas laminares, está marcada por una secuencia directa empezando por las calizas grainstone.

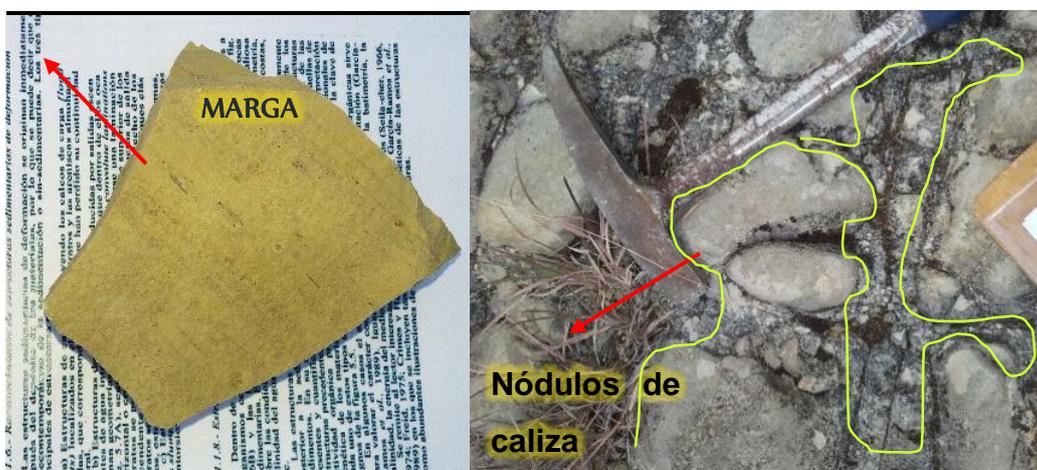


Foto 4: A la izquierda margas, y a la derecha una caliza nodular en La Encañada.

3.4.2.2. Facies Litoestratigráfica: caliza grainstone- packstone



Foto 5: Calizas grainstone y packstone del miembro medio de la Formación Yumagual en La Encañada.

Dicha facies se caracteriza por el gran espesor de sus estratos los cuales varían desde 1m- 1.40m, presentado en la base estratos de menor espesor y en el techo va aumentando, lo cual representa una secuencia inversa.

3.4.2.3. Facies Litoestratigráfica: calizas (grainstone)- margas- arcillitas

La secuencia de intercalación de calizas- margas- arcillitas, el cual hace una secuencia directa, dichos afloramientos presentan espesores de (30-40 cm, para las caliza - margas) y (20-25 cm, para las arcillitas), pues a medida que se avanza se encuentra una secuencia de margas, y escasos niveles de calizas nodulosas de 10-12 cm de espesor en sus respectivos estratos.

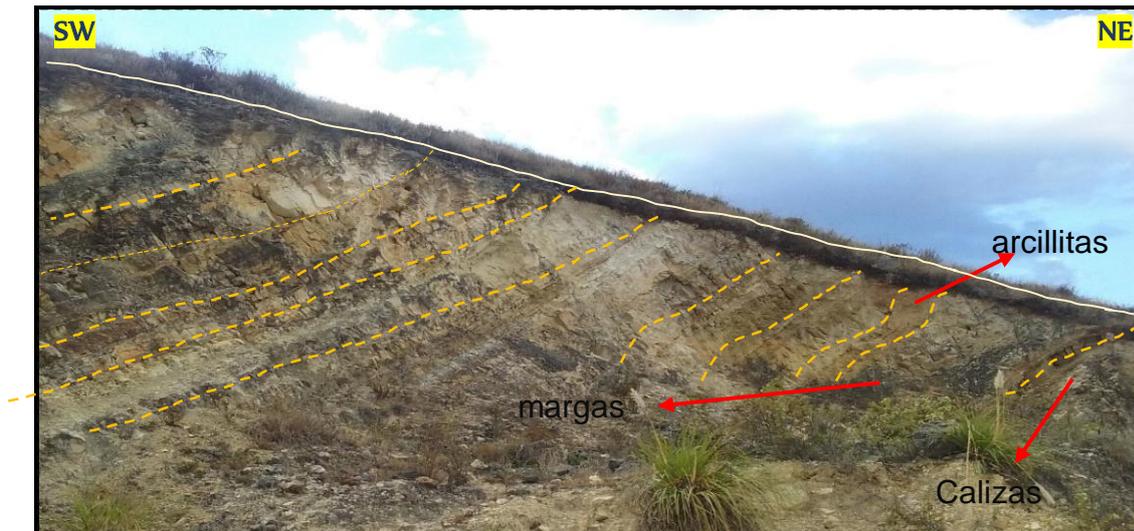


Foto 6: Facies de intercalaciones de calizas- margas- arcillitas en La Encañada.



Foto 7: A la izquierda calizas y a la derecha arcillitas.

3.4.3. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Superior)

3.4.3.1. Facies Litoestratigráfica: Calizas nodulares (Grainstone).

Dicha facies se caracteriza por la presencia de calizas de textura grainstone de mayor espesor 0.90 cm-1.60m.



Foto 8: Calizas nodulosas en el piso de Miembro Superior en La Encañada.

En la imagen se puede apreciar el cambio del contacto entre estos dos miembros, medio-superior (de izquierda a derecha), definida por el tipo de caliza, textura y secuencia de sedimentación. En el Miembro Superior se encuentra calizas nodulosas que presentan un espesor de 70cm. -150 cm. aproximadamente hasta el techo, contacto neto, secuencia directa con la Formación Mujarrúm. (Ver columna estratigráfica n° 1 en los planos)

3.5. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN EL CENTRO POBLADO PULLUYCANA.

La Formación Yumagual pertenece al Grupo Pulluicana en el Cretácico Superior, se encuentra sobreyaciendo al Grupo Crisnejas (Formación Chúlec y Formación Pariatambo) el cual presenta un contacto neto, se identifican tres miembros que se describen a continuación.

3.5.1. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Inferior)

Dicho miembro presenta un contacto neto sobreyaciendo a la Formación Pariatambo. Se encuentran en el piso calizas micríticas, nodulosas las que están en contacto con los niveles de chert del techo de la Formación Pariatambo. Se distinguen dos facies de sedimentación:

3.5.1.1. Facies Litoestratigráfica : calizas nodulosas

Se presentan en la base y son de color gris oscuras, se encuentran alteradas y cubiertas por material cuaternario, la textura que presentan es wackstone, "Facies W". Esta se encuentra en contacto con rocas chert del techo de la Formación Pariatambo.



Foto 9: Niveles de chert en el contacto de la Fm. Yumagual con Fm. Pariatambo.

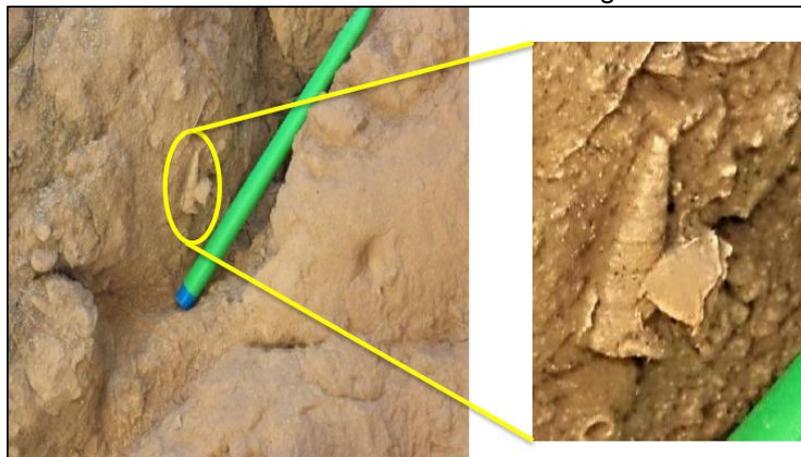


Foto 10: Calizas nodulosas con intercalación de arcillitas, con un espesor de estrato de 10 – 60cm en la Quebrada de Puylucana.

3.5.1.2. Facies Litoestratigráfica : arcillitas - margas-calizas

Se presentan en tramos específicos y se caracterizan por su coloración marrón clara, "Facies M", con contenido de arcilla en su matriz.

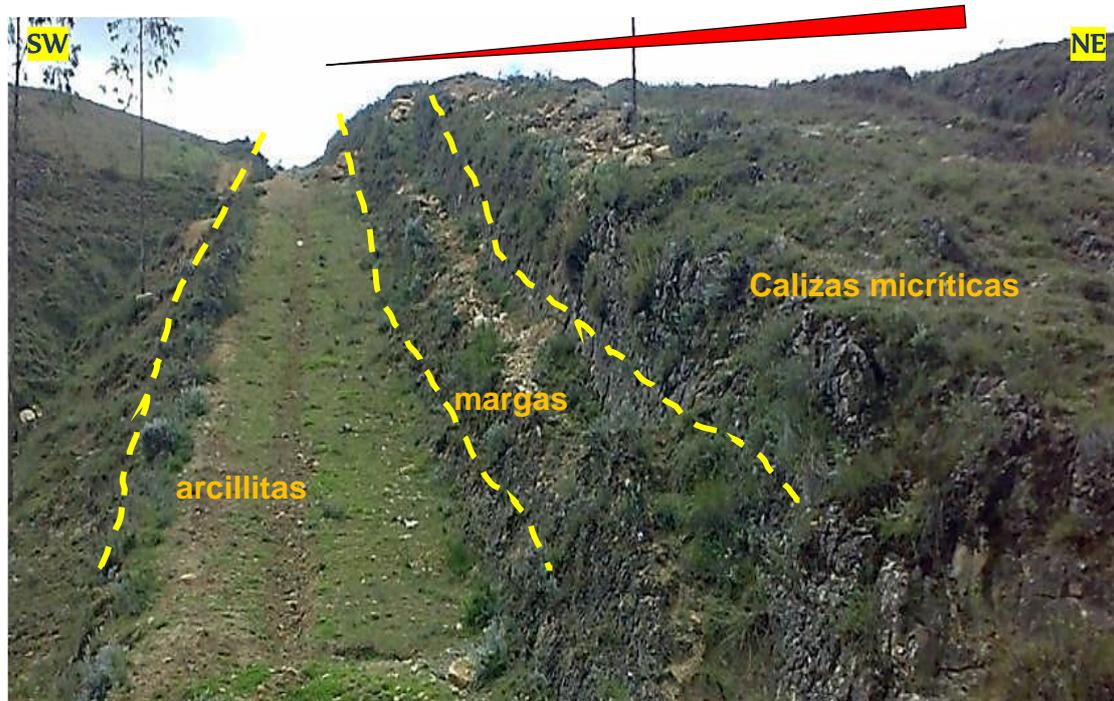


Foto 11: Intercalación de arcillitas con calizas- margas-arcillitas en la quebrada de Puyllucana.

3.5.2. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Medio)

Este miembro presenta un contacto concordante sobreyaciendo al piso del miembro inferior de la Fm. Yumagual. Se encuentran calizas esparíticas de textura packstone. Se distingue un facies de sedimentación:

3.5.2.1. Facies Litoestratigráfica : caliza-margas-arcillitas

Secuencia de calizas intercaladas con arcillitas y margas.



Foto 12: Afloramiento de la Fm. Yumagual en la quebrada Puyllucana.



Foto 13 : Vista panorámica del miembro inferior y medio de la Formación Yumagual.

3.5.2.2. Facies Litoestratigráfica : caliza grainstone- dolomitizadas.

Esta facies se caracteriza porque es homogénea en su 95% calizas grainstone, en toda la facies, con la particularidad que en el techo junto al contacto con el miembro superior se encuentran calizas dolomitizadas. Presenta una secuencia directa. Los fósiles que se encuentran se presentan distorsionados y fracturados.



Foto 14: Dolomías en muestra de mano del techo del miembro medio de la Formación Yumagual en Puyllucana.

3.5.3. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Superior)

Esta empieza después de nivel de 2m de dolomías pertenecientes al miembro medio, se caracteriza por presentar tres facies de sedimentación, las cuales se describen a continuación.

3.5.3.1. Facies Litoestratigráfica : calizas-arcillitas

Se presenta en la base intercalada con arcillitas dando una secuencia rítmica, se encuentran alteradas y cubiertas por material cuaternario, la textura que presentan es packstone, “Facies P”.

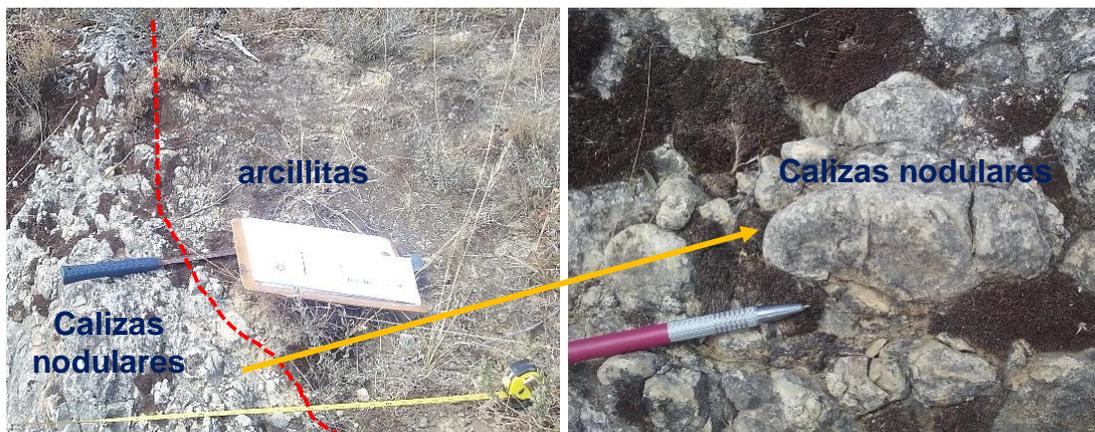


Foto 15: A la izquierda afloramiento de arcillitas y a la derecha calizas .

3.5.3.2. Facies Litoestratigráfica : caliza (grainstone)- wackstone

Consiste en calizas packstone de espesor 140 - 150 cm en promedio con nódulos que miden 2cm - 15cm intercaladas, con calizas wackstone de espesor promedio 40cm cuyos nódulos miden 1cm- 3cm. Presentan calcita en venillas, con una secuencia rítmica.



Foto 16: A la izquierda estratos de gran espesor ya la derecha muestra de mano de calizas wackstone de esta facies.

Estas facies sedimentarias también presentan fósiles pequeños (bivalvos) , laminaciones, sus calizas se caracterizan por presentar alta resistencia, espesores que llegan a medir hasta 1.80m, con desarrollo de karst débil.

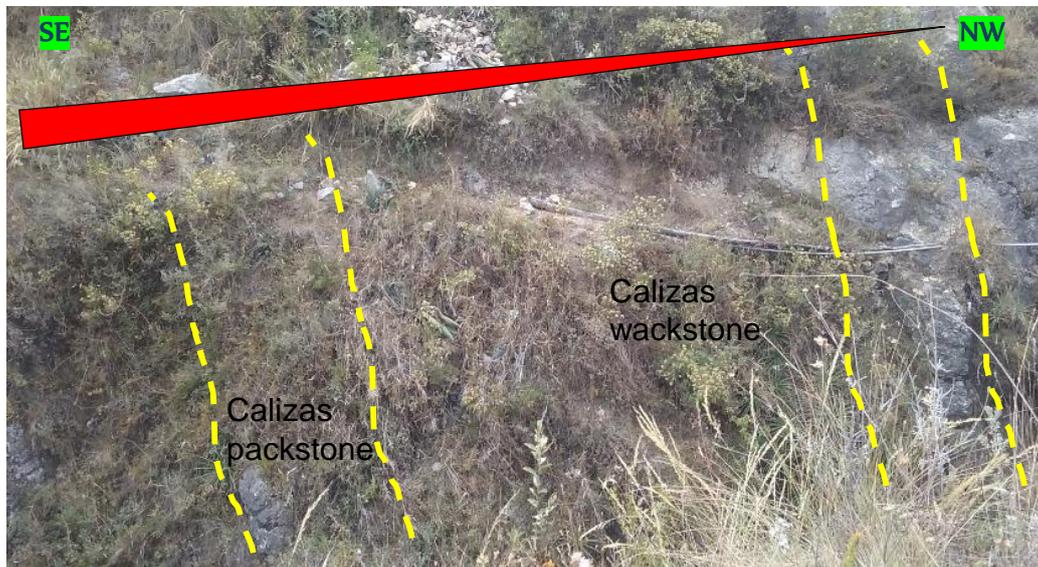


Foto 17: Intercalacion de calizas packstone- wackstone.

3.5.3.3. Facies Litoestratigráfica : caliza (packstone)-margas

En esta facies se presenta calizas de 70cm. de espesor, con óxidos en la matriz, y las fracturas, intercalada con margas. Presenta fósiles pequeños de 2cm de largo (bivalvos). Texturalmente son calizas packstone, se encuentran distorsionados presentando un leve bandeamiento. Se encuentra en el techo en contacto concordante con la Formación Mujarrúm. (Ver columna estratigráfica n°2 en los planos)

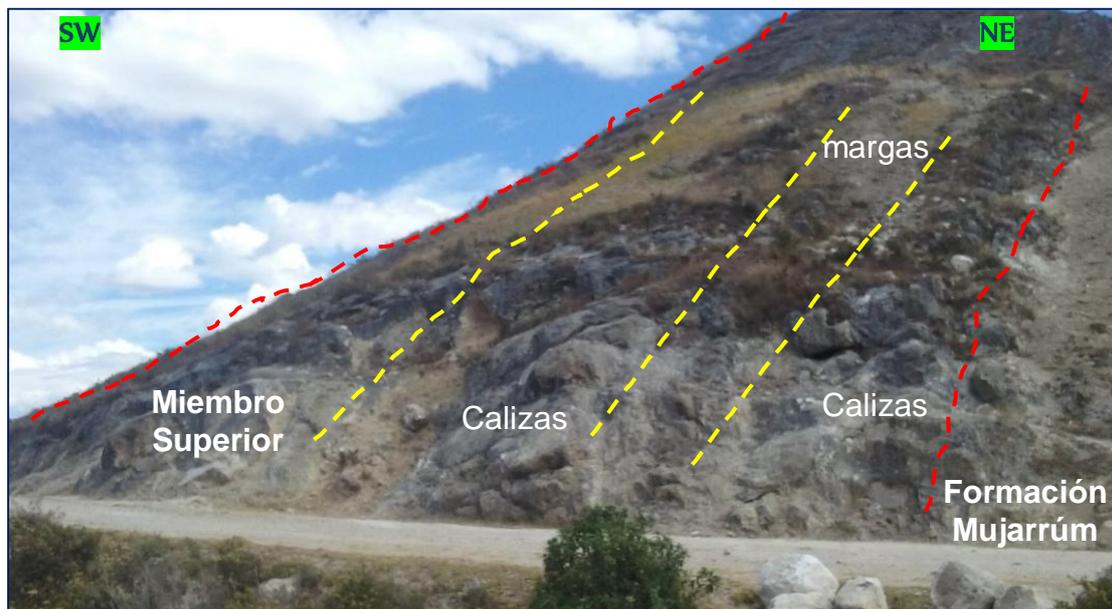


Foto 18: Vista panorámica del miembro superior de la Fm. Yumagual.

3.6. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN YUMAGUAL EN RONQUILLO.

La Fm. Yumagual aflora en contacto con la Formaciones Pariatambo por el piso y Mujarrúm en el techo, ésta unidad litoestratigráfica presenta tres miembros, los cuales se encuentran afectados por estructuras mayores (fallamientos, plegamientos) que se han dado producto de los diferentes eventos tectónicos que han sufrido hasta la actualidad.

3.6.1. Formación Yumagual- Miembro Inferior

Se encuentra sobreyaciendo concordantemente a la Formación Pariatambo. Se ha encontrado unas calizas con fósiles (bivalvos de 2cm- 4cm aprox.), principalmente su textura varía de wackstone a packstone, cuyos espesores van de 40cm. - 80 cm , presentando las siguientes facies:

3.6.1.1. Facies Litoestratigráfica : calizas micríticas (mudstone).

Esta facies se caracteriza porque no presenta fósiles, su contenido de esparita es en promedio 4%, litoclastos 1%, en general el 95% es carbonato de calcio. Estrato de 30cm en promedio. La secuencia es directa.



Foto 19: caliza mudstone del miembro inferior de la Fm. Yumagual.

3.6.1.2. Facies Litoestratigráfica : calizas (wackstone–packstone)

Esta facies se caracteriza por tener una secuencia de calizas de textura wackstone a packstone con contenido de fósiles pequeños (bivalvos) con espesores de 40cm a 70cm, rellenos con calcita recristalizada en las fracturas.

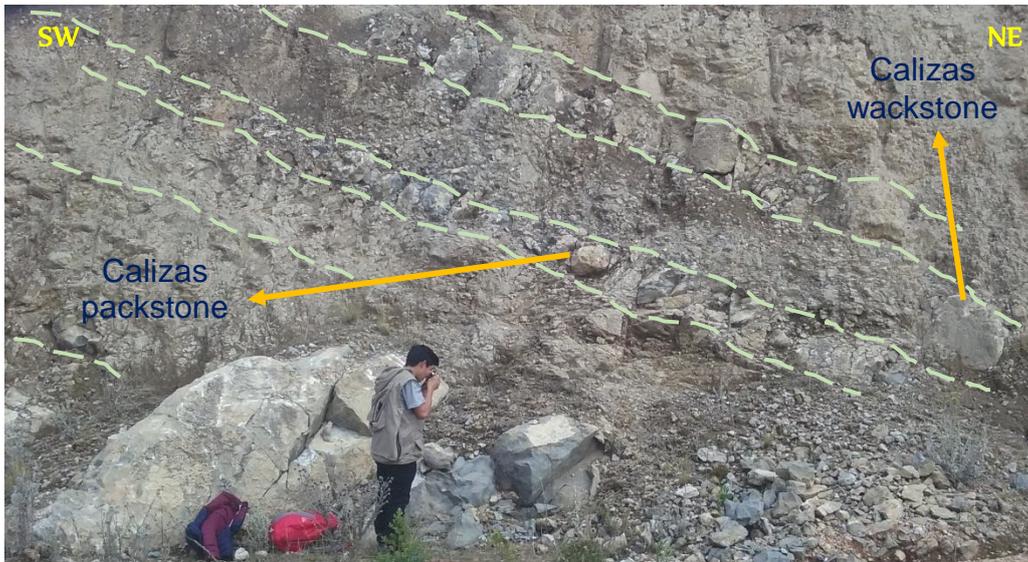


Foto 20: Calizas fracturadas del miembro inferior de la Formación Yumagual en Ronquillo.

3.6.1.3. Facies Litoestratigráfica : calizas (packstone)

Facies constituida por una intercalación de calizas de textura packstone (20 cm. de espesor máximo), con algunas arcillitas 5cm de espesor máximo en el techo, secuencia rítmica, cuyos estratos se encuentran muy fracturados, poca presencia de fósiles pequeños (bivalvos), cuya textura es packstone. El espesor de esta facies es 12m. En el techo se encuentra en contacto neto con una secuencia de margas.

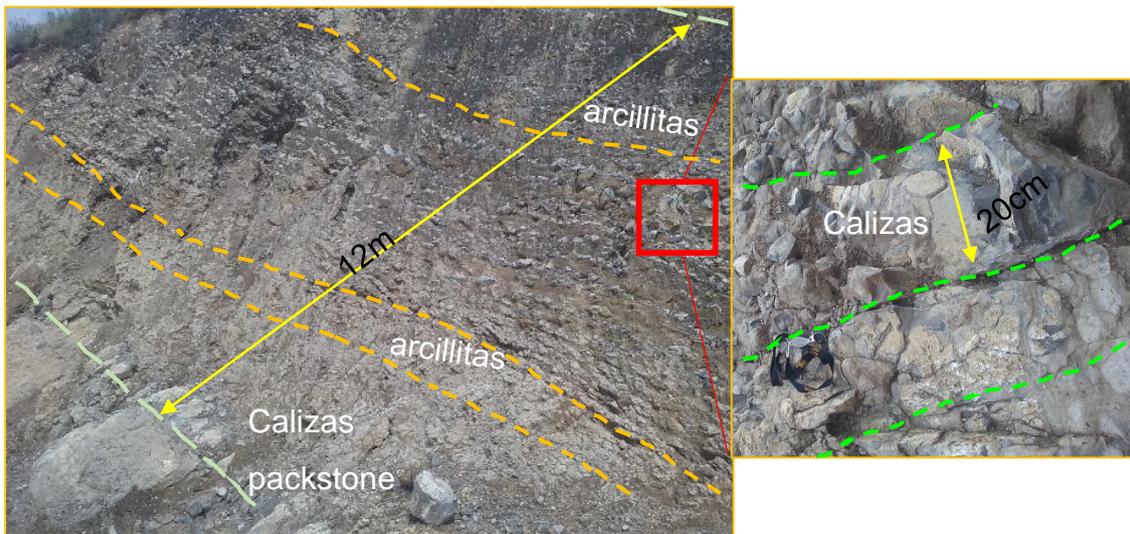


Foto 21: Nótese la secuencia de calizas intercalacion de arcillitas en techo.

3.6.1.4. Facies Litoestratigráfica : margas

Se presenta una facies de margas las cuales se encuentran zonas de fractura recrystalizadas por calcita (R: N15°, B: 85SE), se encuentran con espesores de 50 cm aprox. La secuencia es directa. El espesor de esta facies es 10m.



Foto 22: Afloramientos de margas en la Fm. Yumagual en caserio Ronquillo.



Foto 23: Recristalización de calcita en las fracturas con rumbo NE.

3.6.2. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Medio)

Presentan las siguientes facies de sedimentación:

3.6.2.1. Facies Litoestratigráfica : calizas wackstone

Esta facies es notoria los estratos de 70cm a 1m de espesor promedio de sus estratos, presenta una secuencia inversa. Dentro de los estratos se evidencia pequeños estratos de calizas de 20cm de espesor, mostrando la terminación de facies cortas de sedimentación.



Foto 24: Calizas de textura wackstone en el miembro medio de la Formación Yumagual en Ronquillo.

3.6.2.2. Facies Litoestratigráfica : calizas (packstone)- arcillitas

En esta secuencia aparece una secuencia de intercalación de calizas packstone con arcillitas. El espesor promedio de esta facies es 80m. Presenta una secuencia rítmica.



Foto 25: Afloramiento de calizas packstone con intercalación de arcillitas del miembro medio de la Fm. Yumagual.

3.6.3. Unidades Litoestratigráficas (Miembro Superior)

3.6.3.1. Facies Litoestratigráfica: calizas (grainstone)

Estas facies se encuentran en el techo de la Formación Yumagual, se caracteriza por presentar calizas de textura grainstone en el techo; éstas se encuentran intercaladas con escasos niveles de arcillitas en el piso, la secuencia de depositación es directa. Su espesor promedio de sus estratos es 80 cm. (Ver columna estratigráfica n° 3 en los planos)



Foto 26: Calizas grainstone en el techo del miembro superior en Ronquillo.

3.7. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Las estructuras presentes en la Formación Yumagual, encontramos estructuras de carga (load marks), bioturbaciones moderadas, pocas laminaciones. Las laminaciones están directamente relacionadas con el tipo de transporte de los sedimentos, asociado al nivel de energía, pues están nos indican un nivel de energía muy baja, esto quiere decir que la sedimentación fue en aguas muy tranquilas, de la misma manera los estromatolitos son los organismos que han quedado en los estratos. Dichas estructuras son muy reconocibles en todos los miembros de la unidad (Inferior, Medio y Superior).



Foto 27: Ala izquierda load marks (Encañada) y a la derecha bioturbaciones(Ronquillo).



Foto 28: Laminaciones de arcillitas, con estromatolitos dentro de los estratos en L a Encañada.



Foto 29: Pequeños fósiles (bivalvos) alineados en las laminaciones y paralelas a la orientación de los estratos en Puyllucana.



Foto 30: Estromatolitos dentro del estrato, distorcidos y fracturados en Ronquillo.

3.8. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA

Para la clasificación de las rocas se ha utilizado las principales clasificaciones de estas, de las cuales se ha tomado en cuenta la clasificación de Dunham, Folk en 1962 y la clasificación de Friedman (1965).

Cuadro 6: Descripción petrológica de las calizas del miembro Superior (M-01).

RESPONSABLE		Cristian Caja R.	
CLASIFICACION DE LA ROCA POR:			
FRIEDMAN(1965)	SEGÚN de Dunham (1962)	SEGÚN FOLK(1962)	
INEQUIGRANULAR HIPIDIOTÓPICA	CALIZA PACKSTONE	CALIZA ESPARÍTICA	
DESCRIPCIÓN BREVE	<i>Caliza con 2% de limos, 85 % de esparita, , matriz soportada, 10 % de contenido fósil los cuales se encuentran algunos pegados a otros, de tamaño milimétricos.</i>		
LOCALIDAD	HOJA	FOTOGRAFÍA: M-01	
<i>Puyllucana</i>	15 G		
UNIDAD ESTRATIGRÁFICA			
<i>Fm. Yumagual</i>			
UBICACIÓN			
ESTE	783006		
NORTE	9209841		
COTA	2995		

Cuadro 7: Descripción petrológica de las calizas del miembro superior (M-02).

RESPONSABLE		Cristian Caja R.	
CLASIFICACION DE LA ROCA POR:			
FRIEDMAN	SEGÚN DUHAM	SEGÚN FOLK	
INEQUIGRANULAR SUBEUHEDRAL	WACKSTONE	MICRÍTICA	
DESCRIPCIÓN BREVE	<i>Caliza con 1% de limos,90% de esparita, 2% de fósiles pequeños matriz soportada. Cuya textura es deposicional reconocible, con contenido micrítico.</i>		
LOCALIDAD	HOJA	FOTOGRAFÍA: M-02	
<i>Ronquillo</i>	15 F		
UNIDAD ESTRATIGRÁFICA			
<i>Fm. Yumagual</i>			
UBICACIÓN			
ESTE	769497		
NORTE	9207956		
COTA	3005		

Cuadro 8: Descripción petrológica de las calizas del miembro inferior (MPY-03).

RESPONSABLE		<i>Cristian Caja R.</i>	
CLASIFICACION DE LA ROCA POR:			
FRIEDMAN	SEGÚN DUHAM	SEGÚN FOLK	
EQUIGRANULAR SUBHEDRAL	CALIZA MUDSTONE	CALIZA DOLOMÍTICA	
DESCRIPCIÓN BREVE	<i>Caliza de textura deposicional reconocible con 1% de limos, 2 % de fósiles pequeños, matriz soportada, con contenido de dolomita menos del 20%.</i>		
LOCALIDAD	HOJA	FOTOGRAFÍA: M-03	
La Encañada	15 G		
UNIDAD ESTRATIGRÁFICA			
Fm. Yumagual			
UBICACIÓN			
ESTE	793085		
NORTE	9215520		
COTA	3248		

Cuadro 9: Descripción petrológica de las calizas del miembro inferior (M-05).

RESPONSABLE		<i>Cristian Caja R.</i>	
CLASIFICACION DE LA ROCA POR:			
FRIEDMAN	SEGÚN DUHAM	SEGÚN FOLK	
EQUIGRANULAR SUBEUHEDRAL	MUDSTONE	CALIZA MICRÍTICA MARGOSA	
DESCRIPCIÓN BREVE	<i>Caliza con 45 % de limos, 45% de micrita, 1 % de fósiles, , matriz soportada, con fractura concoidea, se encuentra en el miembro inferior.</i>		
LOCALIDAD	HOJA	FOTOGRAFÍA: M-05	
La Encañada	15 F		
UNIDAD ESTRATIGRÁFICA			
Fm. Yumagual			
UBICACIÓN			
ESTE	793149		
NORTE	9214592		
COTA	3332		

3.9. CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA

Para la correlación litoestratigráfica se ha tenido en cuenta el método de correlación de Shaw, y tenemos las correlaciones que presentamos a continuación.

Se ha realizado teniendo en cuenta los siguientes parámetros de litocorrelación en cada miembro de la Formación Yumagual, en los diferentes afloramientos de los sectores de Ronquillo, Puyllucana y La Encañada.

Desde el punto de vista litoestratigráfico para la litocorrelación se ha tenido en cuenta los siguientes parámetros: facies, secuencia, litología, textura, espesor y estructuras sedimentarias.

Las litocorrelaciones trabajadas son:

- Litocorrelación de las tres zonas Ronquillo-Puyllucana-Encañada. (*Ver Plano de Correlaciones*).
- Litocorrelación de la zona Ronquillo-Puyllucana.(Método de Shaw) (*Ver Plano de Correlación Litoestratigrafica n° 1*).
- Litocorrelación de la zona Ronquillo- La Encañada.(Método de Shaw) (*Ver Plano de Correlación Litoestratigrafica n° 2*).
- Litocorrelación de la zona Puyllucana - La Encañada.(Método de Shaw). (*Ver Plano de Correlación Litoestratigrafica n° 3*).

3.9.1. Edad de la Formación Yumagual

Para realizar la correlación local, se elaboró una columna estratigráfica por cada sector de estudio teniendo en cuenta las características litoestratigráficas de esta Formación. Ésta pertenece al Cenomaniano Inferior y suprayace con leve discordancia a la Formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la Formación Mujarrúm y Grupo Quilquiñan.

La Formación Yumagual consiste en una secuencia de calizas de diferente textura(mudstone, wackstone, packstone, grainstone) intercaladas con niveles de arcillitas y margas gris parduzcas conformando diferentes facies de sedimentación en estratos más o menos uniformes, destacando un miembro medio arcillosos, margoso, amarillento, dentro de un conjunto homogéneo presenta escarpas elongadas debido a su dureza uniforme. Tiene un espesor aproximado de 700m.

Edad.- La Formación Yumagual en el piso abarca desde el Albiano Tardío hasta el Cenomaniano temprano. Se ha definido que su edad está entre los 94-100 Ma, según la escala del tiempo geológico (CSI, 2016).

3.9.2. Ambiente de sedimentación de la Formación Yumagual

El ambiente de depositación de la Formación Yumagual es nerítico (Foreshore), como se puede definir en el esquema mostrado en la figura 17, ya que esta Formación presenta más del 85 % en sus facies, estratos de calizas cuya textura predominante es grainstone y packstone.

Las calizas de textura mudstone y margas encontradas en la zona de Ronquillo representan el contacto neto entre la Formación Pariatambo y Yumagual. Al haber encontrado margas y arcillitas (15%) en los tres sectores.

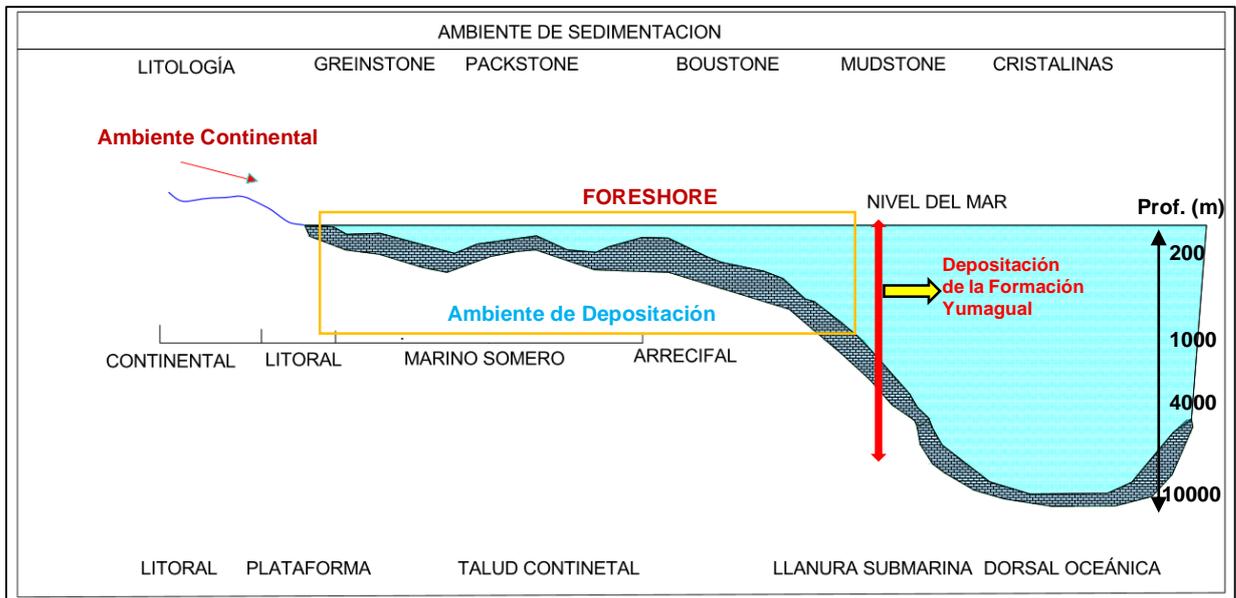


Figura 17: Esquema mostrando la delimitación de la sedimentación marina de la Formación Yumagual.

3.9.3. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados.

No existe una clasificación de uso general de facies carbonatadas. En la clasificación se presenta de acuerdo a la tipificación de facies carbonatadas (Vera, 1994) de acuerdo a la textura cada tipo de facies tiene una letra mayúscula alusiva al tipo textural (M.- mudstone, W.- wackstone, P.- packstone, G.- grainstone), y para rocas afines se ha usado de nuevo iniciales (MG.- margas, L.-lutita). (Vera, 1994)

3.9.4. Resultados de las Facies de la Formación Yumagual por Unidades Litoestratigráficas.

Primeramente se ha hecho el levantamiento en campo de las columnas estratigráficas a detalle para poder determinar el tipo de litología y con esto comprender su ambiente de sedimentación (características de sus facies litoestratigráficas tales como tipo de sedimentación, nivel de energía y tipo de secuencia de depositación). Existen varias facies de sedimentación en las tres zonas de estudio en el Miembro Inferior.

En el Miembro Medio se ha encontrado dos facies carbonatas que representan a rocas calizas de diferentes texturas (grainstone y packstone), margas, arcillitas y calizas dolomitizadas.

En el miembro Superior presenta facies de sedimentación que asocia a rocas calizas (grainstone, packstone, wackstone) las cuales se han descrito en el capítulo anterior.

Las estructuras sedimentarias presentes para la correlación son: load marks, bioturbación, laminaciones paralelas y onduladas. A continuación se presenta una tabla resumen de las facies, estructuras y espesores de cada unidad litoestratigráfica en las tres zonas de estudio.

Tabla 3: Representación de los resultados obtenidos en las zonas de estudio.

UNIDAD	MIEMBROS	ENCAÑADA				PUYLLUCANA				RONQUILLO			
		FACIES	COD.	ESP. (m)	DESCRIP	FACIES	COD	ESP (m)	DESCRIP	FACIES	COD	ESP (m)	DESCRIP
FORMACION YUMAGUAL	INFERIOR	Caliza Nodular-Wackstone-Margas-arcillitas	CND-W-MG-A	137.13	FACIES 1	Calizas nodulosas	CND	116	FACIES 1	Calizas micríticas (mudstone).	CM	73	FACIES 1
		grainstone-arcillitas	GR-A	88.25	FACIES 2	arcillitas-margas-calizas micríticas	A-MG-CM	156	FACIES2	calizas (wackstone-packstone)	C(W-P)	91	FACIES 2
										calizas (packstone)	CP	61	FACIES 3
										margas	MG	44	FACIES 4
	MEDIO	caliza nodular-margas -arcillitas	CND-MG-A	68.83	FACIES 1	calizas margas arcillita	C-MG-A	127	FACIES 1	calizas wackstone	CND-W	53	FACIES 1
		grainstone-packstone	G-P	119.78	FACIES 2								
		margas-arcillitas	MG-A	80.8	FACIES 3	caliza grainstone-dolomitizadas	CG-CD	84	FACIES 2	calizas (packstone)-arcillitas	CP-A	35	FACIES 2
	SUPERIOR	Calizas grainstone	CG	232	FACIES 1	Calizas -arcillitas	C-A	99	FACIES 1	calizas (grainstone)	CG-A	175	FACIES 1
						Caliza grainstone-wackstone	CG-W	80	FACIES 2				
						Caliza Packstone-margas	CP-MG	58	FACIES 3				

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE DATOS

La Formación Yumagual, presenta tres miembros con las siguientes características que se asocian al tipo de ambiente sedimentario.

El miembro inferior se describe en las tres zonas a continuación. En la zona de La Encañada se presentan dos facies de sedimentación que son: Caliza Nodular/Wackstone\Margas\arcillitas y calizas grainstone\arcillitas cuyo espesor 225m, en la zona de Puyllucana presenta dos facies: Calizas nodulosas, arcillitas\margas\calizas micríticas con espesor de 272 m y en Ronquillo se tiene: Calizas micríticas (mudstone), calizas (wackstone-packstone), calizas (packstone) y margas con espesor de 269m.

El miembro medio en la zona de La Encañada presentan tres facies de sedimentación: caliza nodular\margas \arcillitas, calizas grainstone\packstone y margas\arcillitas cuyo espesor 268 m, en la zona de Puyllucana presenta dos facies: calizas, margas \ arcillitas y calizas grainstone \ calizas dolomitizadas con espesor de 211 m y en Ronquillo tenemos: calizas wackstone, calizas (packstone)\ arcillitas con espesor de 88m.

El miembro Superior en la zona de La Encañada presenta una facies de sedimentación: caliza grainstone cuyo espesor 232 m, en la zona de Puyllucana presenta una facies: calizas - arcillitas y calizas grainstone – wackstone con espesor de 237 m y en Ronquillo se tiene: calizas grainstone con espesor de 175m.

Al encontrar calizas grainstone y arcillitas con las laminaciones onduladas con rellenos e óxidos, indican que los niveles de energía durante su depositación estuvo muy cerca al continente, el cual pertenece a un ambiente de plataforma somera (Jacay, 2005), pero que esta ha sido afectada por una regresión durante la fase Peruana, a progradación de esta plataforma carbonatada hacia el

Suroeste, está asociada a una inestabilidad tectónica local durante el Albiano Superior.

El miembro medio está conformado por calizas nodulosas, grainstone, grainstone, margas las que se encuentran intercaladas con niveles de arcillitas, presentando una secuencia directa en su base, también presenta una secuencia inversa seguida por una secuencia rítmica de margas \ arcillitas, finalmente en el techo de esta presenta una secuencia directa, estructuras sedimentarias los load marks y laminaciones.

Las margas indican que hubo aporte tanto el continente como del mar, por lo que se encuentra en el foreshore (zona de plataforma nerítica), ayudándonos también por el tipo de calizas encontrados durante el levantamiento de la columna estratigráfica (ver figura 17).

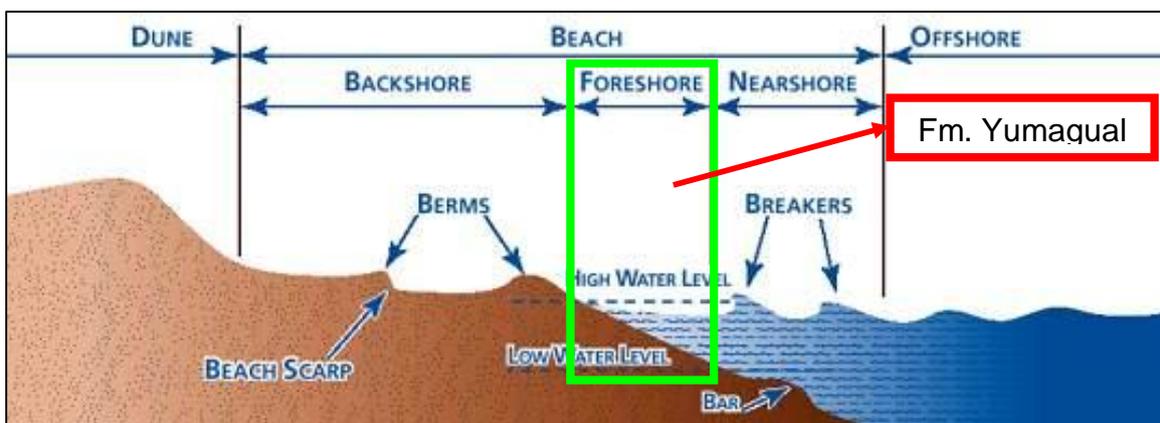


Figura 18: Ubicación dentro de las zonas de sedimentación para la Formación Yumagual. (Adaptada por el autor)

En la correlación litoestratigráfica de Puylucana \ Encañada, se puede definir que todos los puntos que están situados sobre la línea o muy cerca de la misma, se consideran isócronas en ambas secciones, y también se puede evaluar que los espesores difieren en lo mínimo lo que indica que la tasa de sedimentación ha sido muy análogas, pues existe una correlación lineal con ángulo promedio de 45°, en los tres sectores Ronquillo, Puylucana y La Encañada.

En cambio en las correlaciones litoestratigráficas de Ronquillo-Encañada y Ronquillo- Puylucana, se puede definir que los puntos se encuentran

ligeramente distantes de la línea de 45°, que indica simplemente una variación en la tasa de sedimentación por tanto diferencias en los espesores los miembros de esta unidad pero que si son correlacionables porque presentan en la misma línea de tendencia la mayoría de puntos que todos están situados sobre la línea o muy cerca de la misma, se consideran isócronas en ambas secciones, además se ha evaluado que los espesores a nivel de miembro difieren regularmente el cual indica que la tasa de sedimentación ha sido similar , y que su depositación ha ido variando de acuerdo al lugar y momento que son definidas por las diferentes secuencias, características de cada una y en cada zona correspondiente.

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La columna estratigráfica muestra que sus Unidades Litoestratigráficas presentan unas facies litológicas de cada miembro típicas que son correlacionables en las tres zonas porque presentan las mismas características litológicas, secuencia de depositación, texturas de las rocas, estructuras sedimentarias y en su mayoría espesor de estrato más no en toda la Formación Yumagual.

Ésta se correlaciona en los tres sectores de estudio a nivel de la cuenca de Cajamarca, presentando diferencias mínimas tanto en la secuencia de sedimentación, las facies de sedimentación; pues evidencia de rocas calizas, margas y arcillitas demuestran que ha existido transiciones lo que define que existió una regresión marina, durante el Cenomaniano.

La Formación Yumagual se depositó desde el Albiano tardío al Cenomaniano temprano cuya edad esta entre los 94-100 Ma según el tiempo geológico (CSI, 2016), las calizas determinan que esta se depositó en un ambiente nerítico(Foreshore), cuya presentación de las arcillitas indican un ambiente de sedimentación en aguas tranquilas, pero que además se tiene calizas mudstone, grainstone, packstone, estas indican que existieron corrientes de agua marina, con alto nivel de energía las que se pueden determinar por la bioturbaciones en las facies de sedimentación marina, asociadas estas a los diversos fracturamientos en las facies de sedimentación.

Finalmente según la correlación litoestratigráfica la Formación Yumagual mientras más se aleja al este presenta menos espesor, y mientras más al oeste presenta mayor tasa de sedimentación, lo cual indicaría que está directamente asociada al fenómeno de la subsidencia, según (Jacay, 2005), y por presentar dichas características son correlacionables al 85% de sus facies de sedimentación en las tres zonas de estudio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se elaboraron tres columnas estratigráficas en las zonas de La Encañada, Puyllucana y Ronquillo describiendo las facies de sedimentación dentro de las cuales se ha definido la litología calizas de textura (mudstone, grainstone, packstone, wackstone) margas, calizas dolomitizadas y arcillitas, secuencias de depositación directa, inversa y rítmica.
- Las estructuras sedimentarias típicas encontradas en la Fm. Yumagual son: load marks, bioturbaciones, laminaciones, estromatolitos, laminaciones paralelas y onduladas.
- Según la litoestratigrafía encontrada en la Formación Yumagual aplicando parámetros de secuencias, litologías, estructuras, texturas, fósiles; el tipo de ambiente de sedimentación es una zona de plataforma carbonatada en la zona nerítica (foreshore).
- Se aplicó el método de correlación de Shaw, corroborándose según la Comisión Estratigráfica Internacional (CSI, 2017) que la Formación Yumagual pertenece al Albiano –tardío-Cenomaniano temprano, cuya edad va desde los 94-100 Ma (CSI, 2017).
- Se ha representado gráficamente el modelo de la cuenca donde se concluye que los tres sectores pertenecen a un mismo sincronismo tanto en la Encañada, Puyllucana y Ronquillo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios complementarios de bioestratigrafía de la Fm. Yumagual dentro de la geología de Cajamarca, con la finalidad de definir sus fósiles característicos.
- Realizar el análisis de cuencas sedimentarias en forma regional ya que determinará un mejor entendimiento de su evolución geodinámica y su paleoambiente de sedimentación.
- Analizar el potencial económico que se puede obtener mediante la explotación de cal, dentro de los yacimientos no metálicos en la zona de Cajamarca.
- Incentivar a realizar más trabajos de estratigrafía y sedimentología en otras formaciones geológicas, a las personas ligadas a esta ciencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, P. y. (1994). Síntesis Estratigráfica del Cretáceo y Paleógeno de la Cuenca Oriental del Perú. Petroperú.
- ARELLANO, J. (2004). LA correlacion estratigrafica.
- BAZÁN, O. (2014). Tectonica andina y su componente cizallante. Universidad Nacional de Cajamarca.
- BENAVIDES, V. (1956). Nota preliminar sobre la Geología de Cajamarca. Lima.
- CABALLERO, C. (2012). Medición de Columnas Estratigraficas.
- ETIENNE, J. (1990). Evolución de la margen andina en el norte de Perú desde el aptiano superior hasta el senoniano. Sociedad Geologica del Perú., 81, 3-13.
- FERNÁNDEZ, H. (2010). Estudio Sedimentológico y Estratigráfico en el Área de Cruz Blanca y Alrededores. 12. Recuperado el Abril de 2016
- INGEMMET. (s.f.). Boletin 31. 2009.
- JACAY, J. (2005). Análisis de la sedimentación del Sistema Cretáceo de los andes del Perú Central. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, v.08, 11.
- JAILLARD, E. (1990). Evolucion de la Margen Andina en el Norte del Perú desde el Aptiano superior hasta el Senomaniano. Sociedad Geológica del Perú.
- JAILLARD, E. (1992). La Fase Peruana (Cretáceo Superior) en la Margen Peruana. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú.
- LAGOS, A y QUISPE, Z. (2007). Aportes al análisis de Cuencas Sedimentarias en los Alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca. 7-12.
- MEDINA, S. (2014). Estratigrafia Secuencial de la Formación Yumagual en el distrito minero de Hualgayoc- Cajamarca.
- NICOLS, G. (2009). Sedimentology and Stratigraphy (2 ed ed.). UK, Estados Unidos: Garsington Road. Recuperado el 24 de abril de 2016
- REYES, L. (1980). Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. INGEMEET, 82.
- RIVAS, P. (2014). Caracterización Sediementológica y Estratigráfica del Cretáceo en el Área de Huayllapampa, Cajamarca-Perú. 12. Recuperado el Abril de 2016

- ROBERT, E. J. (2002). La transgresión albiana en la cuenca andina (perú central - ecuador) : modelo general y diacronismo de los depósitos marinos. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú v. 94 (2002) p. 7-, p. 7.
- TAFUR, I. (1950). Nota preliminar sobre la Geología de Cajamarca. Lima, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado el 26 de abril de 2016
- TERRONES, L. (2014). Cajamarca, Estudio Litológico y Paleontológico de la Formación Yumagual en el Distrito de. 10. Recuperado el 25 de Abril de 2016
- VERA, J. (1994). Estratigrafía: Principios y Métodos (1 ed.). Rueda.

ANEXOS

Anexos de fotos



Foto 31: Vista al este de la zona de investigación Ronquillo.



Foto 32: Vista al este de la zona de investigación.(Puyllucana)



Foto 33: Vista al este de la zona de investigación.(Encañada)



Foto 34: Vista del contacto entre Fm. Pariatambo y Fm. Yumagual en la zona de Ronquillo.

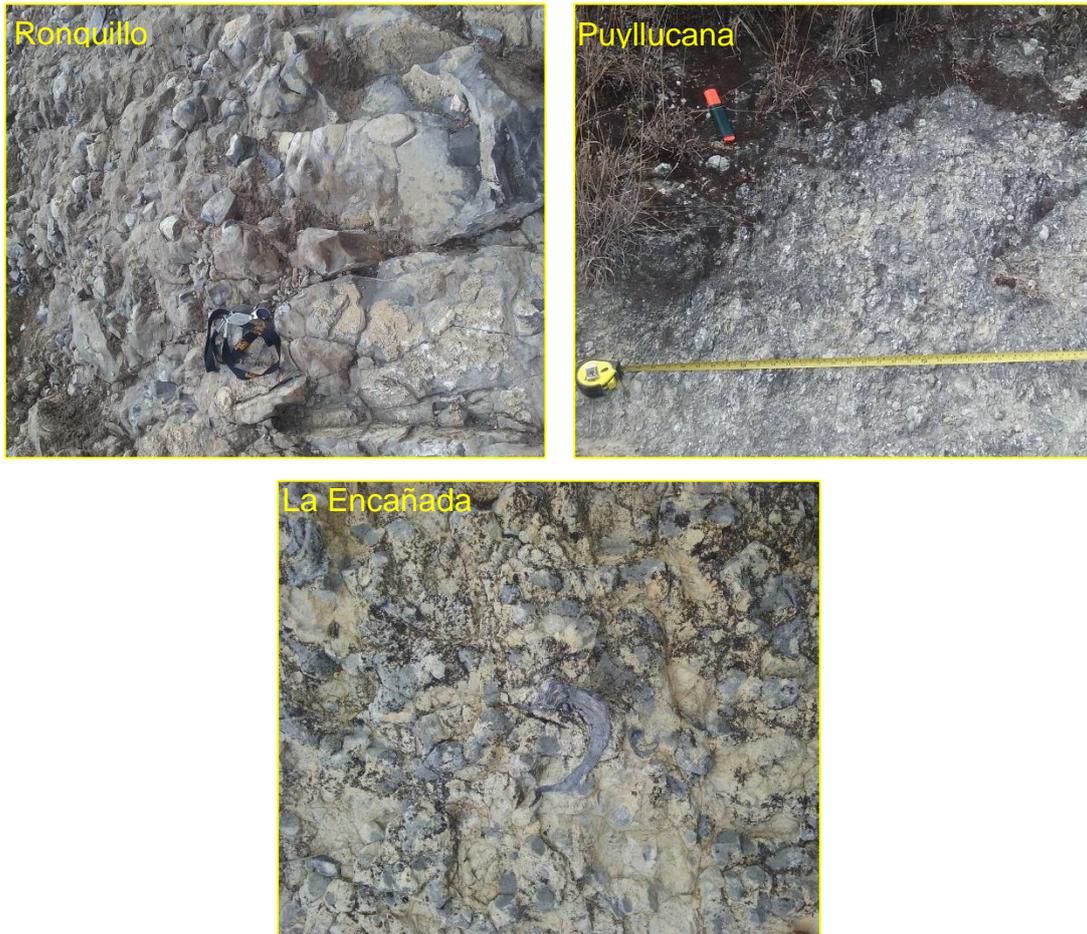


Foto 35: Biozonas de conjunto, Ronquillo, Puyllucana y La Encañada.



Foto 36: Vista panorámica del miembro medio de la Formación Yumagual en la Encañada.



Foto 37: A la izquierda margas de la zona La Encañada y a la derecha caliza grainstone zona de Ronquillo.



Foto 38: Calizas nodulosas en transición del miembro inferior al miembro medio (Encañada).

Anexos de planos