

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**“LITOGEOQUÍMICA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DEL
GRUPO YURA (MESOZOICO), IMPLICANCIAS EN LA
DIFERENCIACIÓN DE TIEMPOS GEOLÓGICOS, VALLE DEL RÍO
TAMBO, MOQUEGUA”**

BR. JESSICA PAOLA CHAPILLIQUÉN NEIRA

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

LINEA DE INVESTIGACION:

**APROVECHAMIENTO Y GESTION SOSTENIBLES DEL AMBIENTE
Y LOS RECURSOS NATURALES**

**PIURA - PERÚ
2019**

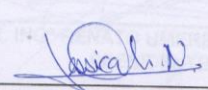
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA




TESIS

**“LITOGEOQUÍMICA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DEL
GRUPO YURA (MESOZOICO), IMPLICANCIAS EN LA
DIFERENCIACIÓN DE TIEMPOS GEOLÓGICOS, VALLE DEL RÍO
TAMBO, MOQUEGUA”**

PRESENTADO POR:


BACH. JESSICA PAOLA CHAPILLIQUÉN NEIRA
EJECUTORA


M.G. ARTURO CORDOVA AGUILAR
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



Los Miembros del Jurado Calificatorio de la Tesis, en sesión pública suscrita, reunidos el día jueves 28 de febrero de 2019, a las 10:00 p.m. en el aula del aula de LITOGEOQUÍMICA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS (MESOZOICO) IMPLICANCIAS EN LA DIFERENCIACIÓN DE TIEMPOS GEOLÓGICOS, VALLE DEL RÍO TAMBO, MOQUEGUA, conducida por el Ing. Geólogo CHAPUQUEN NEIRA JESTIC, las resoluciones y dictámenes de las resoluciones y dictámenes.

TESIS
“LITOGEOQUÍMICA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DEL GRUPO YURA (MESOZOICO), IMPLICANCIAS EN LA DIFERENCIACIÓN DE TIEMPOS GEOLÓGICOS, VALLE DEL RÍO TAMBO, MOQUEGUA”

JURADO DE LA TESIS


DR. ING. RENATO UMERES CACERES
PRESIDENTE


ING. EDINSON SANCHEZ VELASQUEZ MSc.
SECRETARIO


ING. JOSE COBEÑA URBINA MSc.
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
DECANATO

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

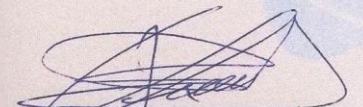
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

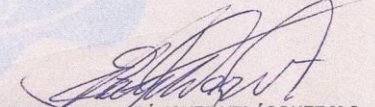
Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 022-CF-2019, de fecha veintitrés de enero de dos mil diecinueve, que suscriben, reunidos el día jueves siete de febrero de dos mil diecinueve, a horas 01:00 p.m., en el aula del PROMAINA - FIM, para la sustentación de la Tesis titulada "LITOGEOQUÍMICA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DEL GRUPO YURA (MESOZOICO) IMPLICANCIAS EN LA DIFERENCIACIÓN DE TIEMPOS GEOLÓGICOS, VALLE DEL RÍO TAMBO, MOQUEGUA", conducida por la Señorita Bachiller en Ingeniería Geológica CHAPILLIQUÉN NEIRA JESSICA PAOLA. Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, la declaran:

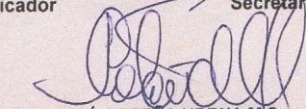
DESAPROBADA	A P R O B A D A			
	Bueno	Muy Bueno	Sobresaliente	Excelente
	-----	-----	----- X	-----

En consecuencia, queda en condición de ser calificada APTA y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA GEÓLOGA**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 07 de febrero de 2019.


DR. ING° RENATO UMERES CÁCERES
Presidente del jurado calificador


ING° EDINSON SÁNCHEZ VELÁSQUEZ M.Sc.
Secretario del jurado calificador


ING° JOSÉ COBENA URBNA M.Sc.
Vocal del Jurado Calificador.

DEDICATORIA:

A mis padres José y Rosa, por su amor incondicional y por el esfuerzo que realizaron para brindarme siempre lo mejor en medio de sus posibilidades.

A mis hermanos Johnny y Karla, por las risas y el cariño que me demuestran siempre.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación. En ese sentido mis agradecimientos a la Ing. Susana Vilca (Presidenta de Ingemmet), Dra. Mirian Mamani (Asesora Geocientífica de Ingemmet) y al Ing Pedro Navarro (Jefe de la Dirección de Geología Regional), quienes me permitieron realizar las investigaciones a partir de datos que se desarrollaron en el Proyecto ACT1-Línea Base Geoambiental de la Cuenca del Río Tambo. Así mismo, agradecer a mi co-asesora Ing. Cristina Cereceda (Jefa del Proyecto ACT1), quien con sus enseñanzas me motivó a realizar este estudio, y que compartió parte de su tiempo en corregirlo.

De igual manera, este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo del Ing. Luis Cerpa, quien contribuyó con sus enseñanzas en los trabajos de campo y brindó su tiempo para corregir la tesis. Agradecer a Vilma Maquera, quien participó en los trabajos de campo y en la colección de muestras.

A mi asesor de la Universidad Nacional de Piura, MSc. Ing. Arturo Córdova por la revisión, corrección y sugerencias al presente estudio, agradecerle por su contribución en mi desarrollo profesional durante los años universitarios.

Un especial agradecimiento a Ana Anastacio y Zhindy Córdova, por su amistad y compañía durante el desarrollo de la presente tesis. A las comunidades neo-catecumenales de Piura y Lima, que me han permitido apoyarme siempre en Dios para mi crecimiento personal y profesional, animándome al esfuerzo constante a manera de contribuir a la sociedad en los tiempos de hoy.

Contenido

CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	2
1.2. GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
1.3. HIPÓTESIS.....	6
1.4. OBJETIVOS DE TRABAJO	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
1.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	6
Trabajo de Gabinete 1	7
Trabajo de Campo	7
Trabajo de Gabinete 2	7
1.6. ESTUDIOS ANTERIORES	8
CAPÍTULO 2	12
MARCO TEÓRICO	12
2.1. JURÁSICO	12
2.2. CRETÁCICO	13
2.3. TRANSGRESIÓN	13
2.4. REGRESIÓN	14
2.5. SEDIMENTOLOGÍA	14
Facies.....	16
2.6. AMBIENTES SEDIMENTARIOS.....	16
Medio somero detrítico	17
Medio de plataforma carbonatada	18
Sistemas Fluviales	18

2.7. GEOQUÍMICA	19
Geoquímica de los elementos mayores	20
Geoquímica de los elementos traza.....	20
Geoquímica de tierras raras.....	21
2.8. DIAGRAMA MULTIELEMENTAL	22
2.9. DIAGRAMAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE ARENISCAS.....	22
Diagrama de Herron (1988)	23
CAPITULO 3	25
MARCO GEOLÓGICO.....	25
3.1. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL	27
3.1.1. Mesozoico	27
CAPITULO 4	39
ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
4.1. ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO	39
4.1.1. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	39
4.2. ANÁLISIS LITOGEOQUÍMICO.....	73
4.2.1. VALIDACIÓN DE DATOS GEOQUÍMICOS	73
4.2.2. CARACTERIZACIÓN LITOGEOQUÍMICA	75
4.2.2. CONTENIDOS PROMEDIO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA	84
CAPITULO 5	87
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS.....	87

RESUMEN

El sur peruano aparece como un sector clave para resolver muchos problemas básicos de tiempos jurásico-cretácico, de modo que su estudio merece toda nuestra atención. Entre los 201 y 66 Ma se definen ambos tiempos geológicos caracterizados por eventos de transgresión y regresión, evidencia de ello tenemos las calizas de ambientes carbonatados que indican eventos de transgresión y las areniscas cuarzosas de ambientes de playa que estarían indicando un evento de regresión, los análisis sedimentarios y geoquímicos nos brindan evidencias que ayudan a definir el cartografiado geológico.

En la parte alta de la Cuenca del Río Tambo, entre las localidades de Ichuña y Chaje, el Grupo Yura presenta carencias y discordancias estratigráficas, por lo cual, en este trabajo se planteó realizar el levantamiento de columnas estratigráficas y un análisis de facies, lo que ha permitido interpretar el medio sedimentario, asimismo, mediante el análisis químico de las rocas jurásicas y cretácicas; por lo cual se pretende demostrar que la sedimentología y la geoquímica son en conjunto una herramienta útil y precisa para establecer o diferenciar unidades geocronológicas, se plantea además registrar patrones característicos de elementos que tengan relación con los análisis sedimentológicos, de esta manera definir unidades en ambos tiempos geológicos.

Por otro lado, los análisis litogeoquímicos se llevaron a cabo en el laboratorio SGS e INGEMMET, los elementos mayores se determinaron mediante fusión de metaborato de litio / ICP-OES y las tierras raras por fusión de peróxido de sodio/ICP-MS. Además, se realizó un análisis mineralógico de las rocas silico-clásticas mediante Difracción de Rayos X. La interpretación de datos litogeoquímicos proporcionó una información más clara sobre la composición química de las rocas siliciclásticas del Grupo Yura, y esto se utilizó como una herramienta para realizar una clasificación de las areniscas y lutitas en base a la composición química. Tanto el Grupo Yura (Calloviano-Tithoniano) como la Formación Hualhuani (Berriasiano) corresponden a un sistema fluvial progradacional, en el que dos estilos regulaban la dispersión de sedimentos: a) un entorno serpenteante de sinuosidad alta a moderada (Grupo Yura) y b) un trenzado incipiente posterior (Formación Hualhuani).

PALABRAS CLAVES: ambientes carbonatados, análisis químico, columnas estratigráficas, rocas jurásicas y cretácicas, análisis litogeoquímicos, rocas siliciclásticas.

SUMMARY

The Peruvian south appears as a key sector to solve many basic problems of Jurassic-Cretaceous times, so its study deserves our attention. Between 201 and 66 Ma are defined both geological times characterized by transgression and regression events, evidence of which we have the limestones of carbonate environments that indicate transgression events and the quartz sandstones of beach environments that would be indicating a regression event, the sedimentary and geochemical analyzes provide us with evidence that helps define the geological mapping.

In the upper part of the Tambo River Basin, between the localities of Ichuña and Chaje, the Yura Group presents stratigraphic deficiencies and mismatches, which is why, in this work, it was proposed to carry out the stratigraphic column survey and facies analysis. that has allowed to interpret the sedimentary medium, also, by means of the chemical analysis of the Jurassic and Cretaceous rocks; therefore, it is intended to demonstrate that sedimentology and geochemistry are together a useful and accurate tool to establish or differentiate geochronological units, it also proposes to register characteristic patterns of elements that are related to sedimentological analysis, in this way define units in both geological times.

On the other hand, the lithogeochemical analyzes were carried out in the SGS laboratory and INGEMMET, the major elements were determined by fusion of lithium metaborate / ICP-OES and the rare earths by sodium peroxide fusion / ICP-MS. In addition, a mineralogical analysis of silico-clastic rocks was carried out by means of X-ray diffraction. The interpretation of lithogeochemical data provided a clearer information on the chemical composition of the siliclastic rocks of the Yura Group, and this was used as a tool to perform a classification of sandstones and shales based on chemical composition. Both the Yura (Callovian-Tithonian) Group and the Hualhuani (Berriasian) Formation correspond to a progradational fluvial system, in which two styles regulated the dispersion of sediments: a) a serpentine environment of high to moderate sinuosity (Yura Group) and b) a posterior incipient braid (Hualhuani Formation).

KEY WORDS: carbonate environments, chemical analysis, stratigraphic columns, Jurassic and Cretaceous rocks, lithogeochemical analysis, siliciclastic rocks.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La presente tesis se realizó en el marco del Proyecto de investigación de la actividad ACT1: “Estudio Litogeoquímico de la Cuenca del Río Tambo” a cargo de la Dirección de Geología Regional, del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET.

El estudio se realiza con el objetivo de diferenciar dos tiempos geológicos Jurásico y Cretácico mediante la integración de análisis sedimentológicos y litogeoquímicos, estableciendo patrones que puedan caracterizar ambos tiempos. En la parte alta de la Cuenca del Río Tambo, entre las localidades de Ichuña y Chaje, el Grupo Yura presenta carencias y discordancias estratigráficas, por lo cual, en este trabajo se planteó realizar el levantamiento de columnas estratigráficas y un análisis de facies, lo que ha permitido interpretar el medio sedimentario, asimismo, mediante el análisis químico de las rocas jurásicas y cretácicas se plantea registrar patrones característicos de elementos que tengan relación con los análisis sedimentológicos, de esta manera definir unidades del Jurásico y del Cretácico, contribuyendo al cartografiado geológico.

Los análisis litogeoquímicos se llevaron a cabo en el laboratorio SGS E INGEMMET, los elementos mayores se determinaron mediante fusión de metaborato de litio / ICP-OES y las tierras raras por fusión de peróxido de sodio/ICP-MS. Además, se realizó un análisis mineralógico de las rocas silico-clásticas mediante Difracción de Rayos X.

Los trabajos de campo fueron realizados durante 15 días, distribuidos en las hojas de Ichuña (33u) y Pichacani (33v), donde se efectuó el levantamiento de 04 columnas estratigráficas, integrando los datos en 01 columna compuesta a escala 1/500, se colectaron 59 muestras de las diferentes litologías registradas en las columnas.

1.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La zona de estudio se ubica en la cordillera occidental del Sur del Perú, pertenece a la provincia General Sanchez Cerro en el departamento de Moquegua (Figura 1.1), corresponde a la parte alta de la cuenca hidrográfica del Río Tambo, abarca las subcuencas de Ichuña y Medio Alto Tambo según la distribución de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). La zona está determinada por las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud: 16°10' S - 16°20' Sur

Longitud: 70° 25' W – 70°45' Oeste

El acceso a la zona de estudio principalmente lo constituye la carretera Panamericana Sur, el traslado se efectuó mediante dos principales vías:

Por vía aérea desde la ciudad de Lima hasta la ciudad de Arequipa, para posteriormente trasladarse al poblado de Ichuña, después de un recorrido de 5 horas con dirección Noreste Arequipa-Imata-Ichuña. De esta vía parten numerosas trochas carrozables y caminos de herradura que permitieron llegar a diferentes partes donde se compilaron datos.

Por vía aérea desde la ciudad de Lima hasta la ciudad de Juliaca, luego mediante carreteras afirmadas que corresponden a la Vía Nacional, se accede a la ruta Puno-Laraqueri-Titire con 154 km de vía asfaltada y finalmente de Titire hasta Ichuña con 220 km de trocha, todos los pueblos de la zona están comunicados mediante trochas carrozables y caminos de herradura.

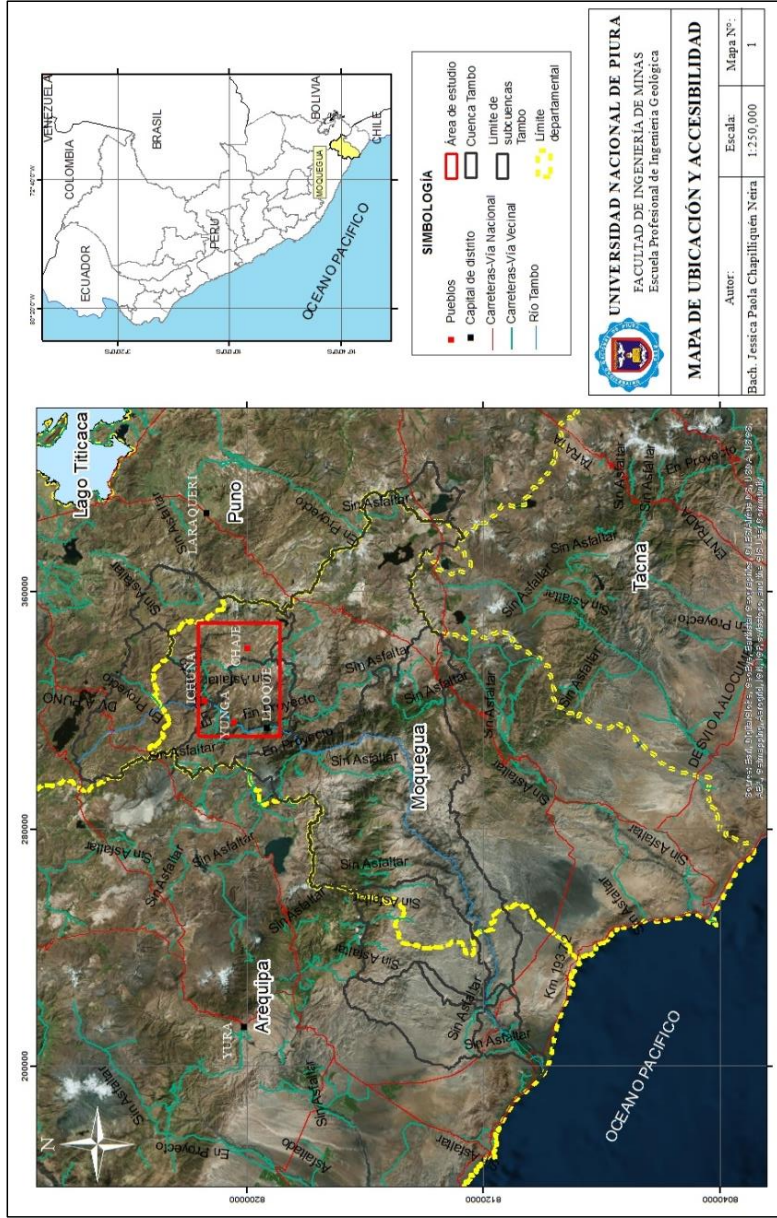


Figura 1.1.- Mapa de ubicación y accesibilidad de la zona de estudio en el departamento de

1.2.GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona está conformada por una topografía muy variada en la que podemos identificar, desde las hondas quebradas, vertientes o piedemontes aluvio-torrenciales; piedemontes coluvio-deluviales; colinas en rocas sedimentarias, intrusivas y volcánicas; laderas, morrenas, bofedales, altiplanicies, montañas y fondos de valles fluviales, glaciares y terrazas indiferenciadas (Figura 1.2). Se ubica entre alturas de 3 000 y 4000 msnm. Las temperaturas máximas oscilan entre 10°C y 20°C y las mínimas van de -9°C a -15°C, el clima es frío y seco con vientos moderados a intensos en el invierno. En el área se reconocen cuatro zonas geomorfológicas:

Valles: el que aflora en la zona de estudio es el valle del Río Tambo, que corta a las unidades mesozoicas del Grupo Yura, este valle posiblemente esté relacionado con el tectonismo que acompañó al levantamiento andino o a la formación de una represa natural, según Marocco cualquiera de estos dos factores provocó la reactivación de la erosión.

La Puna: Es la zona comprendida sobre los 4,000 msnm, cuyo paisaje típico consiste de grandes pampas interrumpidas por suaves colinas y en algunos casos por montañas agrestes.

Las pampas: Están vinculadas con los conos volcánicos, constituyen grandes altiplanicies de lavas y piroclastos, con escasos los cursos de agua.

Laderas de montaña: Los movimientos de tierra han generado modificaciones en el paisaje general, transformando las superficies primitivas por otras más accidentadas. Abarcan superficies extensas que se han considerado lo suficientemente importantes como para constituir zonas geomorfológicas individualizadas, especialmente ubicadas en el valle del Tambo.

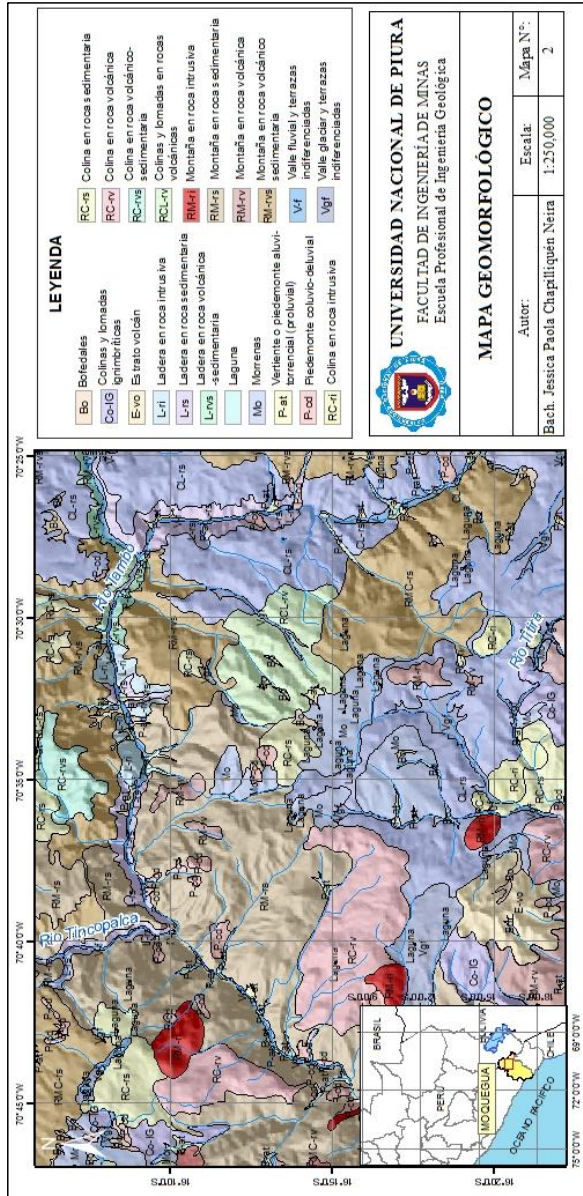


Figura 1.2.- Mapa geomorfológico de la zona de estudio en el departamento de Moquegua

1.3.HIPÓTESIS

Que la sedimentología y la geoquímica son en conjunto una herramienta útil y precisa para establecer o diferenciar unidades geocronológicas.

1.4.OBJETIVOS DE TRABAJO

Objetivo General

Diferenciar unidades geocronológicas mediante análisis sedimentológicos y litogeoquímicos.

Objetivos Específicos

- Establecer patrones guía que sirvan para caracterizar litogeoquímicamente las unidades del Grupo Yura en la zona de Moquegua.
- Interpretar las asociaciones de elementos químicos detectados en las rocas sedimentarias.
- Definir características propias de cada Formación, a manera de contribuir al cartografiado geológico.

1.5.METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para la elaboración del presente estudio, primero se realizó una investigación de la información bibliográfica existente del área de trabajo. Los resultados de la investigación bibliográfica indican que hace falta un procesamiento de información sedimentológica y geoquímica. Luego se procedió a realizar la fotointerpretación del área a escala 1:50 000 de las hojas 33u1, 33u2 (cuadrángulo de Ichuña) y 33v3 (cuadrángulo de Pichacani), conjuntamente con el análisis de imágenes satelitales ASTER y SPOT se determinan litologías, alineamientos y posibles fallas. Seguidamente se desarrolló una campaña de campo que consistió en el levantamiento de columnas estratigráficas y toma de muestras de rocas para análisis sedimentológicos y litogeoquímicos, se realizó también el cartografiado geológico-litológico y medición de datos estructurales en la zona de estudio. Finalmente se realizó un análisis de las facies sedimentarias, interpretación y diagramación de datos geoquímicos, se sintetizó toda la información existente y obtenida en campo teniendo como resultado la presente tesis. La metodología se ha clasificado de acuerdo al trabajo de gabinete y al trabajo de campo, detallado a continuación:

Trabajo de Gabinete 1

Elaboración de la síntesis bibliográfica, donde se revisaron las publicaciones, cartografiados previos e interpretaciones que se tienen en la zona de estudio.

Fotointerpretaciones geológicas a escala 1:50 000 de los cuadrángulos de Ichuña (33u) y Pichacani (33v), del área de estudio que incluye el Grupo Yura, mediante el empleo de imágenes satelitales Aster y Spot.

Elección de zonas de levantamiento de columnas estratigráficas y elaboración de la red de muestreo.

Trabajo de Campo

Cartografiado geológico y muestreo de la zona, se realiza mediante la delimitación de las unidades estratigráficas el mapeo de las rocas que afloran en la zona de estudio (Ichuña, Cerro Cruzani, Santa Cruz de Oyo-Oyo, La Pampilla, Yunga, Jampatuni, Cerro Potosí, Chaje, Patillane, Cerro Quequesane, Quebrada Patillada, Río Tambo, etc.). Se colectaron 59 muestras para análisis litogeoquímicos, las cuales serán analizadas por el método ICP-OES.

Levantamiento de columnas estratigráficas, para determinar la evolución estratigráfica de las facies sedimentarias que se encuentran en los diferentes ambientes de depósito, estas columnas estratigráficas fueron descritas y analizadas e interpretadas mediante el uso del análisis de litofacies propuesto por Miall (1978; 1996; 2006) lo cual nos permitió conocer los medios sedimentarios de origen. Se registró una columna estratigráfica compuesta, donde se encuentran comprendidas formaciones del Jurásico y Cretácico en áreas cercanas a los pueblos de Ichuña, Yunga, La Pampilla, Chaje y Pilliconi, Quebrada Patillada y Cerro Pacco Ccahua, en las hojas de Ichuña (33u) y Pichacani (33v).

Trabajo de Gabinete 2

Se ha creado una base de datos, donde se incluyen coordenadas de cada POG (Puntos de Observación Geológica), la descripción de campo, datos de rumbo y buzamiento, análisis geoquímicos. Posteriormente se plotean estos puntos, para ser utilizados en los gráficos.

Estudio sedimentológico, interpretación de facies y litofacies de las columnas estratigráficas levantadas en campo. Digitalización de las columnas estratigráficas.

Estudio geoquímico (ICP, difracción de rayos X), como análisis para la caracterización química, con la finalidad de conocer y detectar afinidades composicionales entre las mismas.

Procesamiento y análisis de datos, interpretación de resultados, caracterización de los tiempos Jurásico y cretácico. Posteriormente se realiza la redacción de tesis.

1.6. ESTUDIOS ANTERIORES

Las rocas mesozoicas del sur peruano fueron conocidas por Douglas (1914), quien dio a conocer la presencia del Caloviano marino (Jurásico medio) en el Morro de Arica y al Noreste de Tacna, Jaworski (1915), menciona la presencia del Jurásico inferior en los alrededores de Palca.

Jenks, en los años 1945 y 1948, evidencia la presencia de un área sedimentaria mesozoica entre los ríos Yura y Sihuas, donde reporta secciones bien desarrolladas en las que realiza un estudio estratigráfico, es definida como Formación Yura e indica que debería ser considerada como la sección tipo, le dio el nombre de balneario Yura y se ubica a 35 km al noroeste de Arequipa. Él junto a Newel (1945, 1949), asientan las bases de la estratigrafía mesozoica surperuana con los estudios realizados en las hojas de Arequipa y las zonas del Lago Titicaca, es así que, en esta zona se define el área típica o patrón para la secuencia estratigráfica del Grupo Yura.

Victor Benavides (1962), presenta un análisis detallado de la “Estratigrafía pre-terciaria de la región de Arequipa” en base a secciones estratigráficas tipo, propone la subdivisión de la Formación Yura en 5 miembros, determina edades de algunos fósiles, destaca abundantes evidencias de deformaciones penecontemporáneas. Menciona que en la transgresión del Caloviano se inicia otro ciclo sedimentario que abarca a la enorme Formación Yura, un ciclo diferente, en el que ya no predominan los carbonatos y los volcánicos de las formaciones Chocolate y Socosani sino areniscas ortocuarcitas y lutitas negras.

En los años 1960, la Comisión de la Carta Geológica Nacional inicia la publicación de los primeros trabajos de levantamiento geológico en el territorio peruano a escala 1:100,000. Dentro de estos estudios, Marocco & Del Pino (1966), realizan la “Geología del cuadrángulo de Ichuña”, donde reconoce secuencias jurásico-cretáceas denominados como Grupo Yura indiviso en las nacientes del Río Tambo, y la caracterización de rocas volcanoclásticas del Plioceno.

Posteriormente Vicente (1981), con el artículo “Elementos de la Estratigrafía Mesozoica Sur-peruana” presenta una gran contribución al Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico: Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur, donde pone en evidencia

un importante sobrecurrimiento al NW de Arequipa, distinguiendo dos unidades tectónicas, se diferencian facies y discuten sus implicancias sobre la paleogeografía mesozoica.

Bajo el convenio de cooperación técnica entre el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet) y el Servicio Geológico Británico-British Geological Survey (BGS), los geólogos Oscar Palacios y B.A. Klinck (1993), realizaron un estudio geológico a nivel regional (Proyecto Integrado del Sur), dentro de los objetivos fue estudiar la evolución vulcano-tectónica del área y realizar el mapeo geológico regional a escala 1:100,000.

En los años 2000, se realizan trabajos de actualización de la carta geológica a escala 1:50,000, donde cabe mencionar los trabajos de Lipa, Valdivia y Carrasco (2001), en la actualización del cuadrángulo de Ichuña (33u), diferencian al Grupo Yura y detallan la estratigrafía de la zona, identificando 4 unidades jurásico-cretácicas como son las formaciones Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani. Rodríguez et al. (2001), en la actualización del cuadrángulo de Pichachani (33v), establecen que las secuencias del Mesozoico tienen un gran parecido litológico y estratigráfico con las unidades de la región de Arequipa (Benavides, 1962; Vargas, 1970; León, 1981), por lo que se considera que parte de estas unidades litológicas corresponden al Grupo Yura. Mientras que anteriores estudios realizados en este cuadrángulo (Palacios et al., 1993), consideraron a estas secuencias como parte del Grupo Lagunillas. Por otra parte, en la actualización del Cuadrángulo de Puno (Valencia & Rosell., 2003), se caracteriza a la Unidad Labra en dos miembros, uno superior y el otro inferior, debido a su litología, también se subdivide al Grupo Puno en 3 unidades: inferior, intermedia y superior. Además, se reconocieron algunos estratovolcanes como parte del Grupo Barroso.

Carlotto et al (2009), en el artículo “Alto estructural Totos-Paras (Ayacucho): Límite paleogeográfico en la evolución mesozoica de las Cuencas Pucará (Triásico superior-Liásico) y Arequipa (Jurásico-Cretácico)”, habla acerca de la geología del sur, los altos estructurales (Alto Totos-Paras, Alto Cusco-Puno), las cuencas (Arequipa, Pucará y Putina), los sistemas de fallas (Abancay-Andahuaylas-Totos, Cusco-Lagunillas-Mañazo) que corresponden a bloques litosféricos antiguos, todo esto relacionado con la sedimentación, estratigrafía y evolución de las cuencas para comprender la importancia de sus límites y las implicancias de su evolución. En cuanto a la estratigrafía del Grupo Yura levanta una columna al detalle en la Región Totos-Paras, donde define seis secuencias que corresponderían a las formaciones Puente, Cachíos, Labra, Gramadal, Hualhuani y Murco.

Asimismo, se elaboraron diversas tesis en el área de estudio, entre ellas tenemos: Guerrero (1990); “Estudio geológico preliminar del yacimiento carbonífero Santa Cruz de Oyo-Oyo, cuenca de Ichuña”; Torres (1995): “Estudio Geológico del Yacimiento Carbonífero Primavera I (Ichuña-Moquegua)”; Cruz (1996): “Geología y evaluación preliminar de las calizas del sector Curire-Chaclaya, distrito de Ichuña-Moquegua; Cuellar (2001): “Estratigrafía, Sedimentología y Tectónica de las series meso-cenozoicas del cuadrángulo de Pichacani (33v), cuadrante II (SE), Sur del Perú”; Carrasco (2002) “Características petrográficas y geoquímicas del grupo Barroso en los cuadrantes III y IV del cuadrángulo de Ichuña (33u) y Remigio (2012): “Domos, Diatremas y Piroclastos del complejo volcánico Chucapaca, evidencias de sistemas epitermales”.

Guerrero (1990), en su tesis “Estudio geológico preliminar del yacimiento carbonífero Santa Cruz de Oyo-Oyo, cuenca de Ichuña” reporta una columna estratigráfica cerca de la localidad de Santa Cruz de Oyo Oyo, donde diferenció 6 unidades litoestratigráficas. Las dos primeras son correlacionables con la Formación Labra, las unidades superiores se correlacionan con las formaciones Gramadal y Hualhuani.

Wilson Torres Soto (1995), en su tesis “Estudio geológico del yacimiento carbonífero Primavera I (Ichuña-Moquegua) habla sobre la geología regional y local de la zona, diferencia a las rocas sedimentarias en tres unidades; unidad cuarcítica-carbonosa, unidad carbonatada y unidad cuarcítica, las cuales se pueden correlacionar con las formaciones Labra, Gramadal y Hualhuani.

Cruz Elmer (1996), en su tesis “Geología y evaluación preliminar de las calizas-sector Curire-Chaclaya” habla acerca de la estratigrafía de Ichuña, distinguiendo tres formaciones; Labra, Gramadal y Hualhuani. Realiza una evaluación geológica donde hace referencia a la calidad y el volumen de las calizas, pone énfasis en las técnicas extractivas con fines económicos.

Cuellar (2001), en su tesis “Estratigrafía, sedimentología y tectónica de las series meso-cenozoicas del cuadrángulo de Pichacani (33v) cuadrante II SE sur del Perú, habla acerca de la sedimentología y estratigrafía de la zona, divide al Grupo Yura en tres unidades

litoestratigráficas; unidad areno-lutítica (unidad inferior), unidad calcárea (unidad media) y unidad arenosa (unidad superior), cada una con sus espesores y características litológicas.

Acosta et al. (2011), en el boletín “Geología de los cuadrángulos Pachía y Palca, hojas 36v y 36x”, los autores describen las formaciones que se depositaron en la Cuenca Arequipa, las que han sufrido una evolución geodinámica compleja hasta la actualidad, en donde se menciona y describe al Grupo Yura con sus respectivas formaciones Puente, Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani en sucesiones cronológicamente continuas, refinando la cronoestratigrafía asignándolas desde el Calloviano al Berriasiano (Jurásico medio al Cretáceo inferior) considerando en sus actualizaciones amonites adicionales que confirman y refuerzan esas edades.

Remigio (2012), en su tesis “Domos, diatremas y piroclastos del centro volcánico Chucapaca, evidencias de sistemas epitermales”, menciona actividad minera colonial, trabajos de minería a pequeña escala y minas abandonadas al noreste del cuadrángulo de Ichuña y aquellas relacionadas al Complejo volcánico Chucapaca. Asimismo, pone en evidencia que al oeste del complejo se encuentra el yacimiento Canahuire, actualmente denominado como San Gabriel, descubierto por Compañía de Minas Buenaventura S.A.A en el año 2008. El depósito ocurre en el margen de una diatrema, en contacto con las rocas del Grupo Yura, estas rocas jurásico-cretácicas representan el 35% del afloramiento en el área de estudio Chucapaca-Ichuña-Moquegua.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

El sur peruano aparece como un sector clave para resolver muchos problemas básicos de tiempos jurásico-cretácico, de modo que su estudio merece toda nuestra atención. En este capítulo se explican las nociones teóricas que se han desarrollado a lo largo del presente trabajo, para ello tenemos dos periodos de tiempo bien marcados que son el Jurásico y Cretácico, definidos por eventos de transgresión y regresión, evidencia de ello tenemos las calizas de ambientes carbonatados que indican eventos de transgresión y las areniscas cuarzosas de ambientes de playa que estarían indicando un evento de regresión, los análisis sedimentarios y geoquímicos nos brindan evidencias que ayudan a definir el cartografiado geológico.

2.1. JURÁSICO

Es un periodo geológico de la era Mesozoica que abarca desde 201,3 Ma hasta 145 Ma, se caracterizó por la presencia de grandes dinosaurios en tierra y enormes reptiles surcando los mares, los océanos rebosaban de nuevos depredadores, el plancton evolucionaba y transformaba la química de los océanos. Los movimientos de placas continuaron modificando los continentes y ensanchando los océanos, los bloques boreal y austral del supercontinente Pangea se separan desde el Triásico lo cual prosiguió en el Jurásico Inferior, ensanchando el Tetis, este océano seguía una dirección E-O, tenía un efecto significativo en la flora y fauna oceánica así como en el clima del planeta, debido a que las corrientes fluían de E-O, el clima no variaba mucho de norte a sur. En el Jurásico medio empezó a abrirse otro océano, el Protoatlántico, durante el Jurásico superior Laurasia se separó aún más de Pangea, debido al movimiento hacia el Norte de América del Norte, alejándose del Noroeste de África. Mientras Pangea continuaba fragmentándose por la creación de zonas de rift y por subducción, las plataformas continentales se expandían y los ambientes de aguas someras se iban extendiendo globalmente, en los océanos aparecieron nuevos tipos de plancton con esqueleto calcáreo o silíceo que formaban sedimentos ricos en calizas y en sílice, precisamente se le denominó Jurásico debido a las calizas que forman la cordillera del Jura en la frontera franco-suiza (Gavira, 2009). En el Perú se reportan los principales afloramientos del Jurásico entre el centro y sur, el estudio de esta tesis precisa la zona sur entre Moquegua y Puno, en donde se registran calizas gris oscuras con presencia de gasterópodos, bivalvos entre otros, las calizas denominadas Formación Gramadal (Titoniano) indican el tope del tiempo Jurásico, para esta zona de estudio.

2.2. CRETÁCICO

Este periodo también se encuentra dentro de la era Mesozoica y abarca desde 145 Ma hasta 66 Ma. En este tiempo la tierra era un mundo de invernadero, con una alta concentración de CO₂ en la atmósfera y elevadas temperaturas globales. En esta época empezaron a tomar forma los océanos actuales. Pangea seguía desintegrándose, con la expansión del Atlántico Sur a medida que África y América del Sur se separaban. Debido a la colisión de continentes resultaron inmensas cantidades de magma que cubrieron gran parte de la India con lava que al solidificarse en forma de basalto crearon la zona conocida como trampas del Decán. Es probable que esta intensa actividad volcánica pudo causar las extinciones masivas del Pérmico Superior y del Cretácico. Las capas rocosas enriquecidas con el raro elemento llamado iridio indican que la Tierra fue golpeada por meteoritos uno de los cuales dejó un inmenso cráter en la península de Yucatán (México). Éste es uno de los varios sucesos propuestos como posible causa de la gran extinción de especies del final del Cretácico.

2.3. TRANSGRESIÓN

Es un evento geológico en el que el mar ocupa un terreno continental, la línea costera se desplaza tierra adentro. La transgresión es un avance o extensión del mar, también se les denomina inundaciones o ingresiones, se pueden producir por hundimiento de la costa o por la elevación del nivel del mar, como consecuencia de este proceso las zonas que originalmente correspondían a un dominio litoral pasan a tener características de un medio más profundo. En una columna estratigráfica se evidencia cuando hay un cambio de base a tope, donde en la base se observan facies de costa; como areniscas con ripples de oscilación, y hacia el tope facies de plataforma; como una alternancia de margas y calizas. Grabau (1913) define la transgresión como la extensión de una formación más allá de los límites subyacentes, que corresponde a una invasión del mar sobre una zona emergida.

Una transgresión siempre va acompañada por un depósito de sedimentos marinos, generalmente rocas carbonatadas y se encuentran sobre sedimentos terrígenos depositados en un ambiente costero o fluvial. (Monroe & Wicander).

Durante el Mesozoico, Mégard (1978), Dalmayrac (1980), han demostrado que la sedimentación marina, en el dominio andino, comenzó con una transgresión marina en el Triásico superior, durante esta etapa se desarrolló una plataforma carbonatada que duró hasta el Jurásico superior (Titoniano).

2.4. REGRESIÓN

Es el proceso opuesto a la transgresión, se refiere al descenso del nivel del mar donde expone terrenos que antes habían sido sumergidos, las regresiones suelen reflejarse en las sucesiones estratigráficas por discontinuidades estratigráficas (discordancias) de base erosiva (Monroe & Wicander).

Grabau (1913), en su obra *Principles of Stratigraphy*, manifiesta que durante la regresión el desplazamiento de la línea de costa es hacia el mar y se produce cuando el mar se retira como consecuencia de un descenso relativo de su nivel.

Las causas que motivan cambios en el nivel del mar pueden ser de dos tipos: tectónicas y eustáticas, éstas últimas se refieren a fenómenos geológicos como glaciaciones o vulcanismo. Corrales et al. (año).

2.5. SEDIMENTOLOGÍA

La sedimentología es el estudio de los procesos de formación, transporte y depositación de material que se acumula como sedimento en ambientes continentales, marinos y de transición, que eventualmente forman rocas sedimentarias, mientras que la estratigrafía es el estudio de las rocas que establecen el orden secuencial de eventos en la historia de la Tierra, lo cual proporciona el marco de tiempo que nos permite interpretar las rocas sedimentarias en términos de ambientes dinámicos en evolución (Gary Nichols, 2009). Por lo tanto, tener un registro estratigráfico de las rocas sedimentarias es fundamental para el entendimiento de la evolución de la vida y la tectónica de placas a través del tiempo, es necesario también comprender los procesos como erosión, transporte, depositación y la relación que existe entre ellos ya que permiten definir los medios sedimentarios y facies características que ayudan a entender la formación de rocas sedimentarias.

Los materiales que se observan en las secuencias sedimentarias son clástico terrígeno, que se componen de partículas o clastos derivados de rocas preexistentes. Cabe mencionar que las rocas tienen cierto grado de madurez, esto se refiere a la medida en que el material ha cambiado en comparación con el material de la roca madre. Según Pettijohn (1992) la madurez se puede medir en términos de textura y composición, en la mayoría de casos un sedimento maduro composicionalmente es también maduro texturalmente, esta madurez textural puede indicar algo sobre la erosión, transporte y depositación de las rocas sedimentarias, la clasificación

textural de madurez es independiente de la composición de las arenas. La madurez a menudo aumenta río abajo y una vez que el mismo sedimento alcanza una playa, la energía de las olas altas aumentan la madurez, los sedimentos pueden reciclarse de depósitos más antiguos, dando lugar a mayor grado de madurez. Con respecto a la madurez composicional Pettijohn (1992), también menciona que es una medida de proporción de minerales estables o resistentes presentes en los sedimentos. La proporción de clastos altamente resistentes como el cuarzo y fragmentos líticos silíceos en una arenisca, en comparación con la cantidad de tipos de clastos menos resistentes como los feldespatos, la mayoría de otros tipos de minerales y clastos líticos, se consideran al evaluar la madurez composicional. Una arenisca es madura composicionalmente si la proporción de granos de cuarzo es muy alta y es una arenita cuarzosa de acuerdo al esquema de clasificación de dicho autor

En el presente trabajo se registraron básicamente 4 tipos de rocas sedimentarias que serían areniscas grises, lutitas, calizas y areniscas cuarzosas blanquecinas, que son representadas siguiendo el modelo de los gráficos de Pettijohn (1992).

Facies

Para interpretar el medio sedimentario y los procesos que ocurrieron, se utilizan datos obtenidos de las estructuras sedimentarias, geometría, litología, contenido fosilífero, entre otros, estos datos pueden ayudar a determinar los procesos de formación sedimentaria. Son agrupados en códigos denominados facies, para ello se utilizan los códigos propuestos por Miall (1977). Una facie es un cuerpo de roca con características que reflejen las condiciones en que se formó (Reading & Levell, 1996). Para Selley, (1970) se refiere a un conjunto de rocas sedimentarias que se distinguen de otras por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles asociados. Al reconocer estas asociaciones de facies es posible establecer las combinaciones de procesos que fueron dominantes en el ambiente de sedimentación. Por otro lado, las características de un ambiente depositacional son determinadas por los procesos que están presentes. Por ello, existe un vínculo entre las facies, asociaciones y ambiente de depositación. Las litofacies se pueden identificar en tres grupos de rocas: sedimentarias (conglomerados, areniscas, limolitas-lutitas, calizas), lávicas y piroclásticas. En el presente trabajo se hará uso exclusivamente de las litofacies sedimentarias.

2.6. AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Se han definido como una parte de la superficie terrestre que es física, química y biológicamente distinta a las áreas adyacentes (Selley, 1970). La mayoría de los depósitos sedimentarios son el resultado del transporte de material en forma de partículas, que puede ser debido a la gravedad, pero más comúnmente es el resultado de un agente de transporte como el agua, aire, hielo o densas mezclas de sedimentos y agua. La interacción del material sedimentario con el medio de transporte resulta en la formación de estructuras sedimentarias que proporcionan un registro de los procesos que ocurren en el momento de la depositación. Si los procesos físicos que ocurren en diferentes ambientes modernos son conocidos y si las rocas sedimentarias se interpretan en términos de los mismos procesos es posible inferir el probable medio de depositación o medio sedimentario. El entendimiento de estos procesos y sus productos es fundamental para el estudio de la Sedimentología (Nichols, 2009).

El reconocimiento de las estructuras sedimentarias nos ayudará a inferir los medios de depositación en los que se formaron. Se realiza un cuadro de clasificación de ambientes o medios sedimentarios (Figura 2.1) en base a la bibliografía de otros autores, en el cual se dará detalle a los ambientes donde se depositó el Grupo Yura para la zona de estudio.

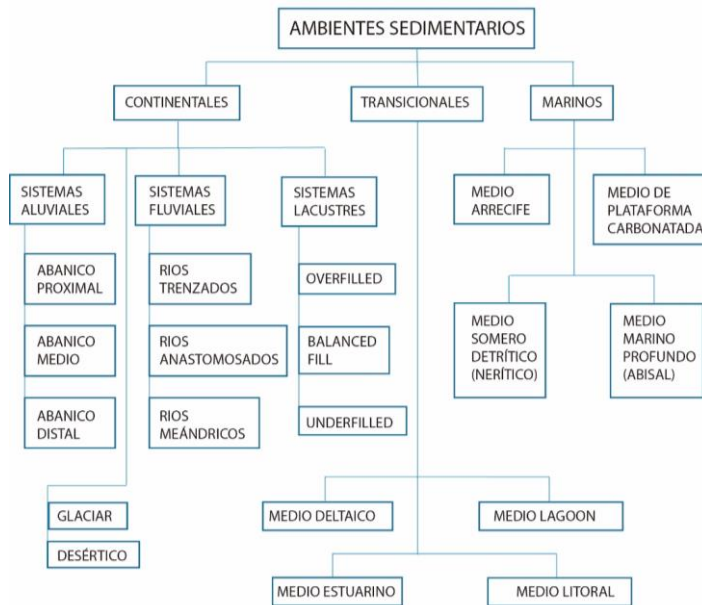


Figura 2.1. Cuadro de clasificación de ambientes sedimentarios. (Modificado y tomado de Twenhofel, 1926; Pettijohn, 1956; Dunbar and Rodgers, 1957; Krumbein and Sloss, 1959; Blatt et al., 1978; Arche, 1992).

Medio somero detrítico

Son áreas de acumulación de cantidades sustanciales de material clástico transportado por los ríos desde el ámbito continental. En Offshore existe una región de aguas poco profundas, la plataforma continental, que puede extenderse a decenas o cientos de kilómetros hacia el mar antes que el agua se profundice en las cuencas abisales del océano. No todas las áreas de tierra están separadas por cuencas oceánicas, pero en cambio tienen poca profundidad, los mares epicontinentales entre ellos. El material clástico es distribuido en las depresiones y los mares epicontinentales por las mareas, las olas, las tormentas y las corrientes oceánicas: estos procesos clasifican el material por el tamaño de grano y las zonas de depósitos de arena y lodo, que forman gruesas capas de arenisca y lutitas en el registro estratigráfico. Las facies características pueden ser reconocidas como productos de transporte y depositación por las mareas y los procesos de tormenta / olas. La depositación en ambientes marinos poco profundos es sensible a cambios en el nivel del mar y el registro estratigráfico de los cambios del nivel del mar es registrado en sedimentos formados en estos entornos García (2014).

Medio de plataforma carbonatada

Son áreas de suave pendiente o pequeñas depresiones, se consideran también como rampas semiplanas rodeadas por un borde formado por un arrecife o un banco de arena carbonatada. La tectónica influye en las características de las plataformas carbonatadas (Bosence, 2005), los más grandes se forman en márgenes continentales pasivas, mientras los más pequeños se forman en cordilleras submarinas localizados en sistemas extensionales. Una secuencia constituida por la progradación de una rampa carbonatada se caracteriza por el engrosamiento de los depósitos de carbonatos tipo mudstone y wackestone. Los depósitos en el entorno de la rampa exterior son generalmente clasificados como un tipo de carbonatos wackestone y hacia la mitad de la rampa se pueden identificar sedimentos tipo packstones, teniendo por último capas tipo grainstone en la rampa interior (Wright 1986). Este tipo de medio se presenta en la Formación Gramadal.

Sistemas Fluviales

Los ríos son una característica importante de la mayoría de los paisajes, actúan como el principal mecanismo para el transporte de sedimentos de las zonas de montaña y los traslada a los lagos y mares, donde se deposita la mayor parte de los sedimentos clásticos, la acumulación de sedimentos también se da en canales y llanuras de inundación. El tamaño de grano y las estructuras sedimentarias en los depósitos de canal río se determinan por el suministro de detritos, la gradiente del río, la descarga total y las variaciones estacionales en el flujo (Nichols, 2009). Los medios fluviales según Arche (2010), se clasifican en tres principales tipos morfológicos, los cuales son: a) Anastomosado, contienen múltiples canales interconectados que están separados por llanuras de inundación, b) Meandriiformes, son sinuosos y solamente tienen barras depositacionales en las partes internas de los meandros, c) Entrenzado (braided), contienen barras intercanales que están cubiertas por el flujo del nivel máximo. En esta tesis se estudia la configuración sedimentaria de forma meandriiforme para el Grupo Yura y sistema braided para la Formación Hualhuani (Figura 2.2).

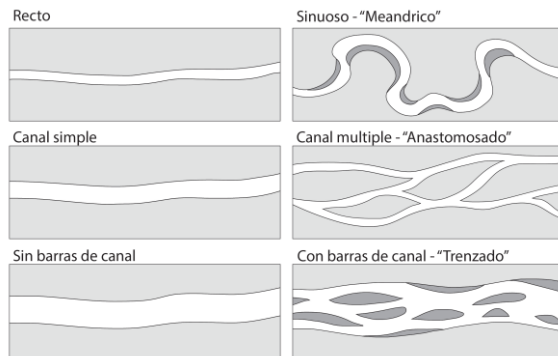


Figura 2.2. Se distinguen varios tipos de ríos, basado en si el canal del río es recto o sinuoso (meandrónico), si tiene uno o múltiples canales (anastomosado) y si tiene barras intercanales (trenzado), las combinaciones de estos son posibles (Nichols, 2009)

2.7. GEOQUÍMICA

Es la ciencia encargada de estudiar el quimismo de la tierra, estudia la distribución de los elementos y sus isótopos, la composición y movilidad de los elementos químicos en la tierra, determinando la abundancia relativa y absoluta de los elementos. Los elementos químicos son los formadores de minerales y ahí radica su importancia, es posible asociar un grupo de elementos a un mineral determinado y obtener un registro más detallado de la composición de la roca. El término litogeoquímica, según Mason & Moore (1958), consiste en los estudios de la distribución y migración de los elementos químicos y sus especies atómicas en el interior y en la superficie de la corteza, en el espacio y tiempo. Cada tipo de roca, se considera como un sistema químico en el cual distintos agentes pueden producir cambios, los cuales implican una perturbación del equilibrio, y posteriormente la formación de un nuevo sistema, el cual se encontrará bajo nuevas condiciones. Por otro lado, (cf. Armstrong-Altrin et al., 2004; Armstrong-Altrin & Verma, 2005), manifiestan que muchos granos en rocas siliciclásticas son derivados de varios tipos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, la mineralogía y la composición química de estas rocas presentan características de composición de rocas madres, que son generalmente bien registradas en las rocas sedimentarias y proporcionan información valiosa acerca de la naturaleza de la roca fuente y el ambiente tectónico de su emplazamiento. Sin embargo, Ángeles (2006), menciona que las rocas sedimentarias despliegan diferencias químicas distintas en cada tipo de roca fuente debido a cambios químicos, los cuales actúan antes y durante la formación de la roca. En base a ello, las principales variables que controlan

la cantidad y distribución de los elementos son: Composición de la roca fuente, factores que actúan durante la meteorización y erosión de la roca fuente (relieve, drenaje, clima, temperatura, humedad), ambiente tectónico y ambiente de depositación.

Geoquímica de los elementos mayores

Rollinson, (1993), menciona que los elementos mayores son aquellos que predominan en el análisis químico de la roca y se presentan en una concentración mayor al 1% en peso (>1000ppm), entre los elementos medidos en los análisis se encuentran: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na y P. Estos elementos son usados para la clasificación de la roca, para la construcción de diagramas de variación y como un medio de comparación de la composición de las rocas determinadas experimentalmente. Además, permiten determinar ambientes tectónicos dominantes, la proveniencia de los sedimentos y nivel de intemperismo. Ángeles, (2006), señala que la movilidad de los elementos mayoritarios está controlada principalmente por tres factores: Estabilidad y composición de los minerales en roca inalterada, estabilidad y composición de los minerales en el producto de alteración, y la composición, temperatura y volumen de la fase fluida.

Geoquímica de los elementos traza

Un elemento traza está definido como aquel que se presenta en concentraciones menores al 1% en peso (%wt), esto es <1000 partes por millón (ppm). Los elementos traza se han vuelto una parte vital de la petrología moderna y son de mayor utilidad que los elementos mayores para discriminar los procesos petrogenéticos, asimismo, son clave para la discriminación y clasificación de rocas siliciclásticas, es importante destacar el hecho de que algunos elementos se comportan como elementos mayores en algunos grupos de rocas y como elementos traza en otros grupos, a concentración de elementos traza en sedimentos resulta de las influencias competitivas de la procedencia, intemperismo, diagénesis, clasificación de sedimentos y la geoquímica acuosa de los elementos individuales en el ambiente de depósito. Además de las condiciones prevalecientes durante el ambiente de depósito, otros procesos pueden modificar la concentración de algunos elementos traza. Por ejemplo, Mn, Co, Pb y algunas veces Cr son móviles durante la diagénesis. Elementos tales como Cs, Rb y Ba son fijados durante el intemperismo, mientras que cationes más pequeños tales como Na, Ca y Sr, son lixiviados (Rollinson 1993). Por otro lado, los elementos como Al, P, Sc, Ti, Y, Zr, Nb, Sn, Hf, Th, Ta y REE son considerados comúnmente como inmóviles; debido a que no son afectados por

procesos secundarios, la mayoría de ellos permanecen inalterados aún durante procesos de metamorfismo. (e.g. Winchester & Floyd, 1977; Wood et al., 1979; Taylor & McLennan, 1985).

Geoquímica de tierras raras

De acuerdo a United States Geological Survey, la Tierras Raras comprenden Y (39), y La-Lu (57 a 71), otros autores consideran junto a este grupo a los actínidos (especialmente el Th (90) y U (92)) y Sc (21). En vista que el paquete de elementos analizados del que se ha dispuesto a partir del análisis con el método ICP-MS, solamente incluye los elementos Ce, La, Lu, Tb, Yb e Y, es que se ha procedido a trabajar con estos; para el caso del Th, U y Sc no se consideran dentro de esta clasificación debido a que sus propiedades geoquímicas secundarias son diferentes a los elementos raros, pero para casos de distribución se toman en cuenta dentro de los demás elementos traza.

Cabe mencionar que, en el Perú hasta el momento, las prospecciones de Tierras Raras no han alcanzado un despegue ordenado, por lo tanto, resulta un poco difícil hablar de la localización con depósitos de este tipo de recurso. Las publicaciones sobre Tierras Raras en nuestro país constituyen un valioso aporte técnico para reunir un inventario nacional de los lugares donde puede haber fuentes potenciales de estos elementos que serán usados en tecnologías avanzadas. Se tiene tres series de REEs (Tabla 2.1): Primero; Las tierras raras con bajo número atómico, llamadas como tierras raras livianas (LREEs: Light Rare Earth Elements), lo conforman la serie de Lantano (La= 57) hasta Promecio (Pm= 61). Segundo; las tierras raras con números atómicos medios, conocidos como tierras raras medias (MREEs: Middle Rare Earth Elements), de Samario (Sm= 62) al Holmio (Ho= 67). Y finalmente; las tierras raras con número atómico más alto, llamadas tierras raras pesadas (HREEs: Heavy Rare Earth Elements), desde Erblio (Er= 68) hasta Lutecio (Lu= 71).

Tabla 2.1: Elementos de tierras raras LREE (1), MREE (2), HREE (3). Fuente: Tomado de Rollinson (1993).

No. atómico	Nombre	Símbolo	Radio iónico (Angstroms: 10^{-10} m)	
57	(1)Lantano	La	La 3+	1.160
58	(1)Cerio	Ce	Ce 3+ Ce 4+	1.143
59	(1)Praseodimio	Pr	Pr 3+	1.126
60	(1)Neodimio	Nd	Nd 3+	1.109
61	(2)Prometio	Pm	No se presenta naturalmente	
62	(2)Samario	Sm	Sm 3+	1.079
63	(2)Europio	Eu	Eu 2+ Eu 3+	1.250 1.066
64	(2)Gadolinio	Gd	Gd 3+	1.053
65	(2)Terbio	Tb	Tb 3+	1.040
66	(3)Disproσιο	Dy	Dy 3+	1.027
67	(3)Holmio	Ho	Ho 3+	1.015
68	(3)Erbio	Er	Er 3+	1.004
69	(3)Tulio	Tm	Tm 3+	0.994
70	(3)Yterbio	Yb	Yb 3+	0.985
71	(3) Lutecio	Lu	Lu 3+	0.977
39	(3) Itrio	Y	Y 3+	1.019

2.8. DIAGRAMA MULTIELEMENTAL

Los diagramas multielementales o también llamados diagramas spider utilizan las propiedades y particularidades de las tierras raras para interpretaciones petrogenéticas, previamente los datos deben ser normalizados a una referencia estándar, para eliminar descartar la variación entre números atómicos pares e impares de los elementos, para las rocas sedimentarias se normaliza a la corteza superior y se usan los diagramas de Taylor y McLennan, 1985; Rudnick y Fountain, 1995.

2.9. DIAGRAMAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE ARENISCAS

Por otro lado, para la clasificación litológica de areniscas en base a su composición química, se considera inicialmente tres diagramas de discriminación propuestas por Pettijohn (1972), y posteriormente modificadas por Blatt et al. (1980) y Herron (1988), donde, la relación SiO_2/Al_2O_3 es utilizada como un indicador de madurez mineralógica en las areniscas y como un indicador del tamaño de grano de los sedimentos (Pettijohn et al., 1987, Figura 2.3).

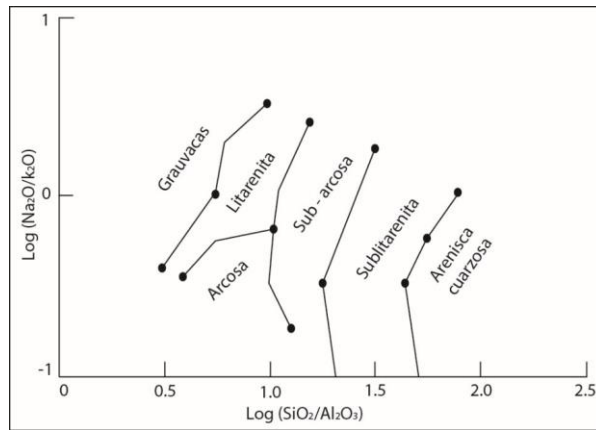


Figura 2.3. Diagrama de clasificación de areniscas propuesto por Pettijohn (1987).

Diagrama de Herron (1988)

Los datos también se representan en un esquema usando las concentraciones químicas para clasificar areniscas y lutitas, para ello se utiliza el diagrama de Herrón (1988), el cual emplea logaritmos naturales de las relaciones de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ con la finalidad de conocer los ambientes de depositación y presentar un análisis del marco tectónico.

La relación de hierro total, expresado como Fe_2O_3 y K_2O es efectiva para distinguir fragmentos líticos de feldespatos en una amplia variedad de areniscas, la relación puede ser expresada como un indicador de estabilidad mineralógica. A bajas temperaturas y presiones características de los ambientes de sedimentación, los minerales formadores de rocas más estables son los feldespatos-K, mica (muscovita), y cuarzo, de los cuales los dos primeros son ricos en K y los tres son bajos en contenido de Fe. Mientras que, los minerales formadores de roca menos estables ocurren en fragmentos líticos y son ser enriquecidos en Fe y Mg. Los compuestos de minerales estables tienen bajas relaciones de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, y los compuestos de minerales menos estables, localizados cerca de la fuente de sedimentos y conteniendo abundantes fragmentos líticos, tienen relaciones altas de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$. Solamente en cuarzoarenitas muy maduras, conteniendo poco Fe y K, tendrán relaciones insignificantes. Varias de las categorías mostradas en la Figura 2.4, (cuarzoarenita, subarcosa, sublitarenita, litarenita y grauwaca) siguen el esquema de clasificación de areniscas de Folk (1968) y Pettijohn et al. (1972). La lutita, no es presentada en el diagrama de discriminación geoquímico

propuesta por Pettijohn et al. (1972), es distinguida de la grauvaca (o simplemente waca) principalmente por una relación baja de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Las muestras con muy alta relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ (> 4) son clasificadas como ricas en hierro o ferruginosas, y más allá en pobres condiciones como arenitas ricas en Fe (ricas en glauconita) o lutitas ricas en Fe (conteniendo abundante pirita o siderita) en base a la relación de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Herrón, 1988).

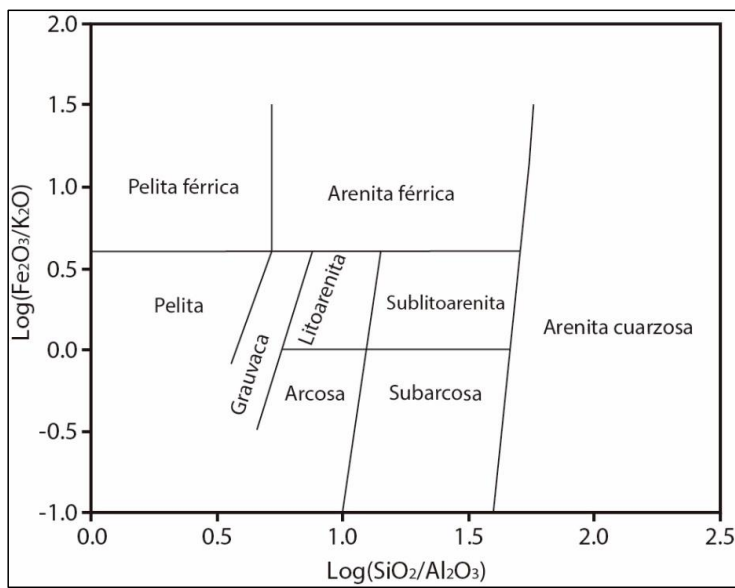


Figura 2.4: Diagrama de clasificación litológica, tomado de Herrón (1988).

CAPITULO 3

MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se ubica en el departamento de Moquegua, en el sur del Perú, abarca las subcuencas hidrográficas de Yarihualla, Paltiture e Ichuña, las cuales pertenecen a la parte alta de la Cuenca del Río Tambo. En esta locación, afloran secuencias de rocas sedimentarias y volcánicas que representan el intervalo cronoestratigráfico Jurásico inferior - Plioceno.

Las rocas del Mesozoico y Cenozoico respectivamente, han sido descritas por Lipa et. al. (2001) en la actualización de la Carta Geológica Nacional. Siendo, las rocas más antiguas las del Grupo Yura asignado al Jurásico-Cretáceo, formando franjas con rumbos NO-SE, que corresponden a las formaciones Cachios, Labra, Gramadal y Hualhuani, están cubiertas en discordancia angular por los conglomerados del Grupo Puno, los cuales se encuentra debajo de las rocas volcano-sedimentarias de la Formación Pichu, ambos de edad Paleógena. Por encima en discordancia erosional se encuentran las lavas andesíticas, tobas de grano fino y brechas de la Formación Lllallahui, asignados al Grupo Tacaza de edad Oligocena, (Marocco y Del Pino, 1966). Posteriormente afloran rocas volcano-sedimentarias del Grupo Maure de edad Mio-pliocena (Lipa et al, 2001), que están cubiertas por las lavas y tobas del Grupo Sillapaca del Mioceno medio. Rodriguez et. al. (2000) describe una toba brecha riolítica que la atribuye a la Formación Vizcachas del Mioceno superior. Por encima y en discordancia erosional se encuentran las rocas volcánicas del Grupo Barroso de edad Pleistocena (Marocco y Del Pino, 1966). En base a la información geológica, imágenes satelitales Aster y Spot, edades radiométricas y datos recopilados en campo, se redefine la estratigrafía y el cartografiado de las unidades que afloran en la zona de estudio (Figura 3.1).

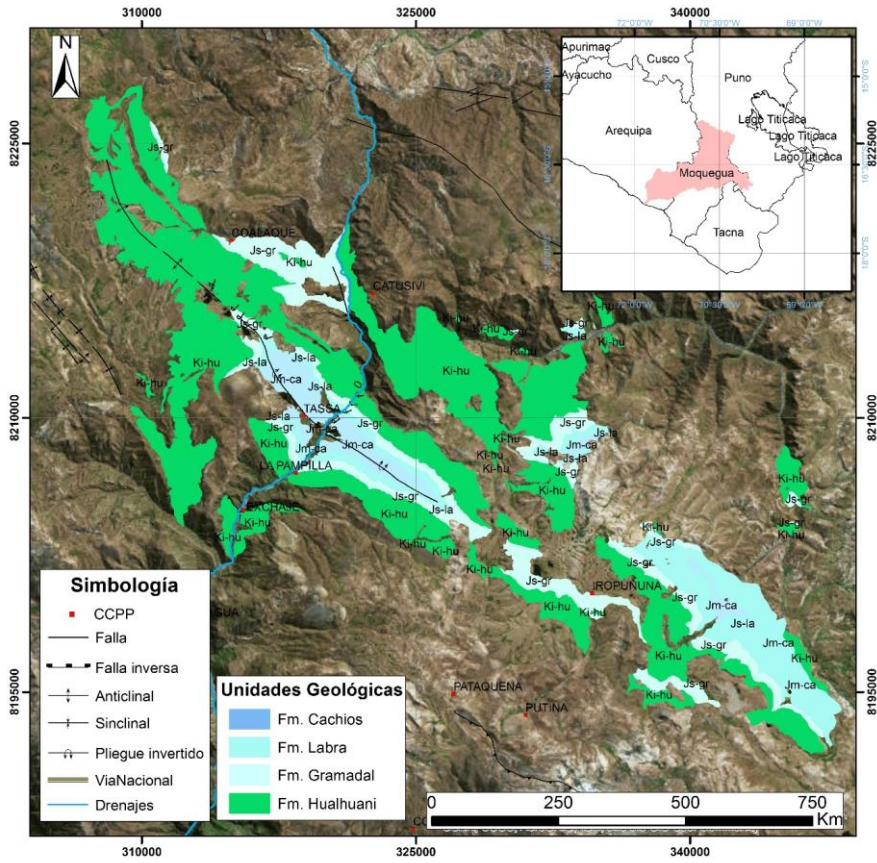


Figura 3.1.- Mapa geológico de la zona de estudio en el departamento de Moquegua, donde destacan las unidades mesozoicas.

Para tener un mayor detalle de la nomenclatura de unidades litoestratigráficas, se realiza un cuadro que contiene información estratigráfica del área de estudio (Figura 3.2), a partir de estas comparaciones podemos representar de mejor manera las sucesiones de rocas estratificadas de este sector.

Etapa	Sist.	Serie	Piso	Edad Ma	Marocco & Del Pino (1966)	Torres (1995)	Cuellar (2001)	Lipa & Valdivia (2001)	Rodriguez (2001)	Remigio (2012)	Este trabajo (2018)		
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Albiano	-113.0	Volcánico Matalaque			Fm. Matalaque		Grupo Puno	Grupo Puno		
			Aptiano	-125.0			Fm. Murco	Fm. Murco	Fm. Murco		Fm. Murco		
			Burremiano	-129.4		Fm. Hualhuani							
			Hauteriviense	-132.9		Fm. Gramadal	Unidad Arenosa	Fm. Hualhuani	Fm. Hualhuani	Fm. Hualhuani		Fm. Hualhuani	
			Valanginiense	-139.8		Fm. Labra	Unidad Calcarea	Fm. Gramadal	Fm. Gramadal	Fm. Gramadal	Fm. Gramadal	Fm. Gramadal	
			Berriasiense	145		Fm. Cachios	Unidad arenolítica	Fm. Labra	Fm. Labra	Fm. Labra	Fm. Labra	Fm. Labra	
	Jurásico	Sup.	Tiloniano	152.1 a 0.9	Gpo. Yura Indiferenciado	Fm. Puente							
			Kimmeridgiense	157.3 a 1.0									
			Oxfordiense	163.3 a 1.0									
		Med.	Caloviano	166.1 a 1.2									
			Batoniano	168.3 a 1.3									
			Bajociano										

Figura 3.2.- Comparación estratigráfica de las unidades establecidas en el área de estudio de acuerdo a su geocronología.

3.1. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

3.1.1. Mesozoico

3.1.1.1.- Jurásico-Grupo Yura

Representan las rocas más antiguas que afloran en la zona de estudio, forman una faja de rumbo noroeste-sureste, de relieve pronunciado que separa a la hoja de Ichuña en dos partes, una hacia el noreste y la otra hacia el suroeste. En el departamento de Arequipa, Jenks (1948) designó la Formación Yura entre los ríos Yura y Sihuas, junto a Newel (1949) definen las bases de la estratigrafía mesozoica en el sur del Perú entre la zona de Arequipa y el lago Titicaca. En el año 1962, Benavides determina la sección tipo de la aún denominada Formación Yura, en la cual diferencia cinco miembros: Puente, Cachios, Labra, Gramadal y Hualhuani. Mientras que en la región de Tacna Wilson & García (1962) reconocen unidades muy parecidas a las de Arequipa, a las que denominan formaciones de Ataspaca y Chachacumane, en la misma zona, en el año 2018, Alván et al. diferencian al Grupo Yura de la Formación Hualhuani en base a análisis sedimentológicos y petrográficos. En la hoja de Ichuña, Marocco y del Pino en el año 1966, identifican las rocas mesozoicas sin diferenciarlas, señalando que tendrían un espesor entre 1 300 a 1 500 metros, mencionan que litológicamente está compuesta de cuarcitas presentando intercalaciones de lutitas, calizas, areniscas rojas continentales y algunos lechos de carbón, mientras que en el año 2001, Lipa et al., en la actualización de la Carta Geológica Nacional de Ichuña, diferencian cuatro formaciones para el Grupo Yura, las cuales serían Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani (Figura 3.3).

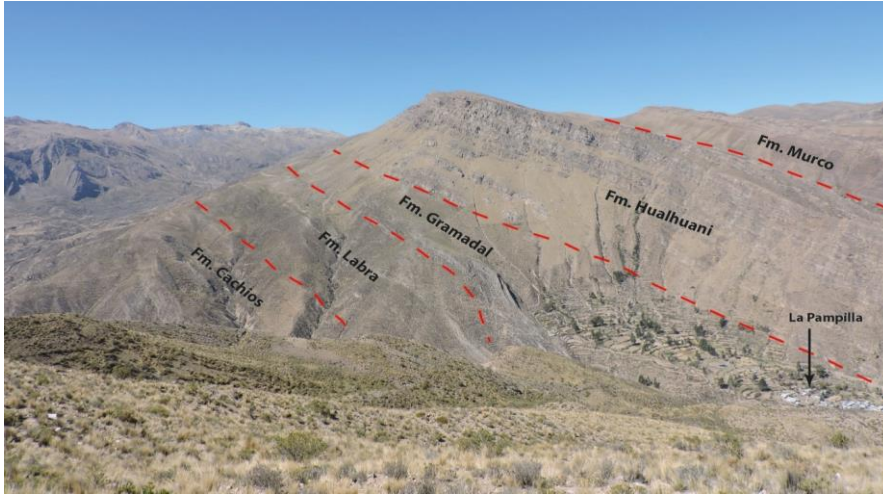


Figura 3.3.- Afloramiento donde se representa al Grupo Yura, en cercanías a la localidad de Yunga e Ichuña, margen derecha del Río Tambo.

A. Formación Cachios

Jenks (1945-1948) y Benavides (1962), describen por primera vez los afloramientos de Yura, en el departamento de Arequipa, como una serie de lutitas con esporádicas intercalaciones de areniscas canalizadas, con abundantes evidencias de deformaciones penecontemporáneas. León (1981) menciona que existen 600 m de una contrastante serie de lutitas negras y gris oscuro, ricas en materias orgánicas y restos vegetales con intercalaciones esporádicas finas y siltitas con abundantes marcas de corrientes e importantes estructuras de deslizamiento, en función de estas estructuras sedimentarias diferencia 3 miembros: *inferior*, caracterizado por la presencia de grandes paleocanales (40m de profundidad, 400m de ancho) rellenos por paleocanales menores, niveles de slumping y conglomerados infraformacionales arcillosos (mud-pebble), testigos de una fuerte paleopendiente hacia el Este, *intermedio*, con grandes bloques y masas derrumbadas de areniscas (olistolitos) algunos deformados, otros conservando su estratificación interna e imbricados hacia el este, y *miembro superior*, marcado por grandes slumping, la presencia de algunos niveles fosilíferos con amonites y en niveles más superiores bancos de areniscas con huellas (burrows) de bioturbación de tipo thalassinoides que indican una merma en el dinamismo de la cuenca y una reducción de la batimetría.

En el cuadrángulo de Ichuña, Guerrero (1990) la identifica como un yacimiento carbonífero Santa Cruz de Oyo-Oyo, y la describe como lutitas negras, en algunos casos carbonosas y muy deleznales con un espesor aproximado de 600m. Mientras, que en la localidad de Curiri, Lipa et al. (2001) menciona que a lo largo del Río Ichuña – Tambo, la Formación Cachíos está constituida por lutitas grises intercaladas con delgados niveles de areniscas, con un espesor de 50m. La edad estipulada para esta unidad es promedio Jurásico. Esta unidad estratigráfica es inferior a consecuencia de Formación Labra.

En el cuadrángulo de Pichacani, al noreste del poblado de Chaje, existen pequeños afloramientos en el núcleo del anticlinal que pasa por el poblado de Patillane, que litológicamente está constituido por lutitas negras mal estratificadas con intercalaciones de pequeños bancos de cuarcitas grises y niveles centimétricos de calizas, con un espesor menor a 50m. (Rodríguez et al., 2000).

Por otro lado, (Remigio, 2012), en las cercanías del complejo volcánico Chucapaca reconoce a la Formación Cachios conformada por lutitas carbonáceas piritosas con intercalaciones menores de areniscas grises, no se observa la base y su contacto superior es gradacional con las rocas de la Formación Labra. Tiene un espesor estimado de 450m. La formación fue depositada en un ambiente de sedimentación prodéltico

En este trabajo se ha reconocido a la Formación Cachíos mediante el levantamiento de columnas estratigráficas ubicadas cerca de las localidades de Yunga y Chaje, de igual forma en la Quebrada Patillada. Litológicamente está compuesta principalmente por lutitas negras, limos negros carbonosos intercalados con algunos niveles de areniscas grises y verdosas, además de la presencia de nódulos calcáreos y estructuras hummockys que conforman un espesor de 315m. (Figura 3.4).

Ambiente

Las lutitas en Pampillas y Yunga, se presentan con espesores de 20 a 30 metros englobando bancos de cuarcitas de 0.5 a 3 m, microconglomerados, limolitas y areniscas. Debido a las observaciones por Marocco, se infiere que las rocas descritas se han depositado en un ambiente marino de poca profundidad con retiros periódicos del mar. Las lutitas no implican

forzosamente un ahondamiento de la cuenca de sedimentación, simplemente pueden significar una detención temporal de la sedimentación y de la erosión.

Se puede concluir que durante la depositación del Gpo Yura la zona estudiada fue una región costanera con oscilaciones de línea de playa. La continuidad del Gpo Yura hacia el sur parece indicar que la fuente de alimentación ha debido de estar ubicada al norte y noreste, la actual zona del lago Titicaca estaría emergida. (AGREGAR LO QUE MENCIONA PAPER AA)

Edad y correlación En la zona de Arequipa, Vicente (1981), le asigna una edad Kimmeridgiano-Titoniano, en referencia a los trabajos de investigación realizados por Cárdenas y Chávez, publicados en 1982, en donde reportan un nivel con abundantes fósiles *Anditrigonia eximia* y *Trigonia carinata*. En la zona de Omate, Moquegua, Guillen (1983), le otorga una edad del Caloviano superior, en base a los fósiles *Horioceras bidantatus*, *Distichoceras cf. Bipartitun*, y correlaciona con rocas que afloran en Yura, Chapi y La Capilla. Mientras que en la zona de Ichuña, Torres (1995), le asigna una edad correspondiente al Oxfordiano – Kimmeridgiano (Jurásico superior), en referencia al contenido fosilífero *Pelecípodos* y *Ammonites*. En este trabajo se determina la misma edad para la Formación Cachíos debido a la cercanía con el área de estudio.

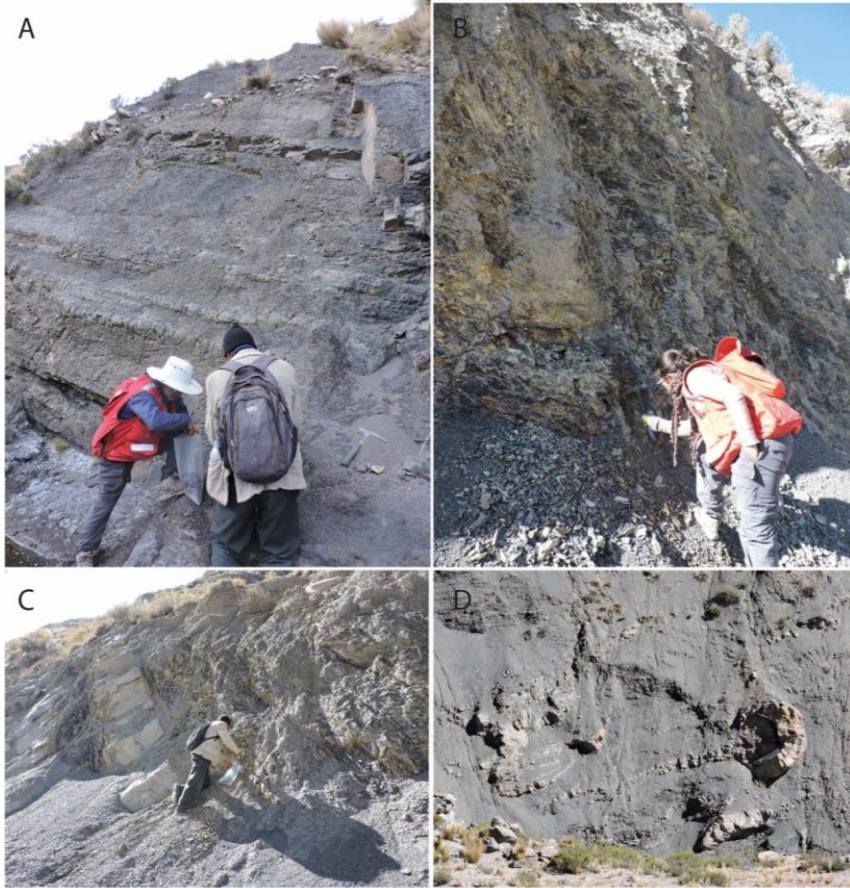


Figura 3.4. A, B, C. Lutitas negras deleznales con nódulos calcáreos, cerca de la localidad de Chaje D. Intercalaciones de lutitas negras con areniscas cuarzosas, se observa deformación sinsedimentaria (slump), ubicado en la Qda.del Río Chaje.

B. Formación Labra

Inicialmente fue definida como Miembro Labra y consta de areniscas interestratificadas con menores proporciones de lutitas y escasa participación de margas y calizas, tiene una potencia de 800 m en Arequipa (Benavides, 1962), posteriormente fue elevada a la categoría de formación (Vicente et al., 1979).

Al suroeste del poblado de Ichuña, presenta niveles de carbón bituminoso (Guerrero, 1990). En el sector de Santa Cruz de Oyo Oyo se reconoce una Unidad Cuarcítica – Carbonífera, conformada por una secuencia de cuarcitas de color blanco grisáceo a rosado con estratificación cruzada, están intercaladas esporádicamente con estratos de calizas y hacia la parte media y superior con mantos de carbón (Torres, 1995).

En la Quebrada de Cuipalca conforma el núcleo de un anticlinal simétrico con un espesor aproximado de 270 m, no se llega a distinguir la base de la formación debido al plegamiento (Cruz, 1996).

A lo largo del Río Ichuña, cerca del poblado de Yunga, Lipa et al. (2001) describen la Formación Labra con un espesor de 100 m, se refieren a pizarras grises y negras, con nódulos centimétricos y de forma esferoidal, intercaladas con areniscas grises que son más abundantes hacia la parte superior de la Formación, presentan estratificación paralela y cruzada, que producen una fractura horizontal incipiente.

Por otro lado, en el sector suroeste del cuadrángulo de Pichacani (33v) se describen afloramientos del Jurásico-Cretáceo asignado al Grupo Lagunillas (De la Cruz et al., 1986), posteriormente es renombrada como Formación Labra (Rodríguez et al., 2000). La base de esta formación se observa en Río Chaje y en contacto progresivo sobre la Formación Cachíos. La secuencia está conformada por intercalaciones de lutitas negras y cuarcitas grises masivas hacia la base y hacia el techo abundan las cuarcitas con estratificación cruzada, que en total suman un espesor de 600m (Rodríguez et al., 2000). Asimismo, en el extremo sureste del cuadrángulo de Pichacani se describe una unidad Arenolutítica de 265 m. dividida en dos secuencias la cual es correlacionada con la Fm. Labra (Cuellar, 2001).

Remigio, en el año 2012, menciona que en las cercanías del complejo volcánico Chucapaca está conformada por areniscas grises intercaladas con lutitas carbonáceas y al tope predominan limolitas que suman un espesor estimado de 450m; cuyo ambiente de formación se le atribuye a sedimentos de plataforma de poca profundidad que evoluciona a facies típicamente de litoral.

En el cuadrángulo de Puno (32v-III), la Fm. Labra subyace en contacto normal a las Formaciones Gramadal y Caraycasa, este último tiene una edad de $21,7 \pm 0,5$ Ma mediante K/Ar en roca total (Bellón & Lefèvre, 1976); mientras que al norte subyace en discordancia con las unidades volcánicas y sedimentarias de las Formaciones Maure y Sillapaca.

En este trabajo se ha reconocido la Formación Labra mediante el levantamiento de tres columnas estratigráficas, ubicadas cerca a los poblados de Chaje, Mormontayoc y Quebrada Patillada, con espesores promedio de 250m, 380m y 82m, respectivamente. Litológicamente, está compuesta por areniscas grises con intercalaciones de estratos delgados de lutitas y limos, en algunos casos hacia el tope de la unidad se observa que las areniscas son más cuarzosas y presentan una coloración gris blanquecina, intercaladas con areniscas calcáreas (Figura 3.5 A, B, C y D).

Edad y correlación: Torres (1995), en la zona de Ichuña le asigna una edad del Titoniano al Berriasiano, debido a su contenido fosilífero (Parahoplites, Berriaselas) y su posición litoestratigráfica, mientras que Cárdenas (1982), en la zona de Arequipa, en el Cerro Cambaya identificó en los últimos niveles de la Formación Labra, abundante fauna de Trigonias “Anditrigonia eximus” determinando un rango desde el Oxfordiano inferior al Titoniano-Hauteriviano. Chávez (1982), en el área de Chapi y Guillen (1983), en la zona de Coalaque-Omate, asumen una edad comprendida del Oxfordiano inferior hasta los inicios del Titoniano, que correspondería al Jurásico superior. En la Región Toto-Paras Carlotto et al., (2009), le asigna una edad tentativa del Oxfordiano al Kimmeridgiano. En Tacna, en la Quebrada Cuviri, Acosta et al. (2011) hace referencia a la Formación Labra con el nombre de Formación Chachacumane a la cual le asigna una edad Oxfordiano en base a amonites Perisphinctinae ind. y Oppeliidae ind. En el mismo año; 2011; Lipa et al. considera la Formación Labra como edad Jurásico superior debido a su posición estratigráfica. Por lo tanto, en el presente estudio se le asigna una edad correspondiente al intervalo Titoniano – Berriasiano en base a los fósiles reportados por Torres en el año 1995, la Formación Labra sobreyace a la Formación Cachíos del Caloviano e infrayace a la Formación Gramadal.

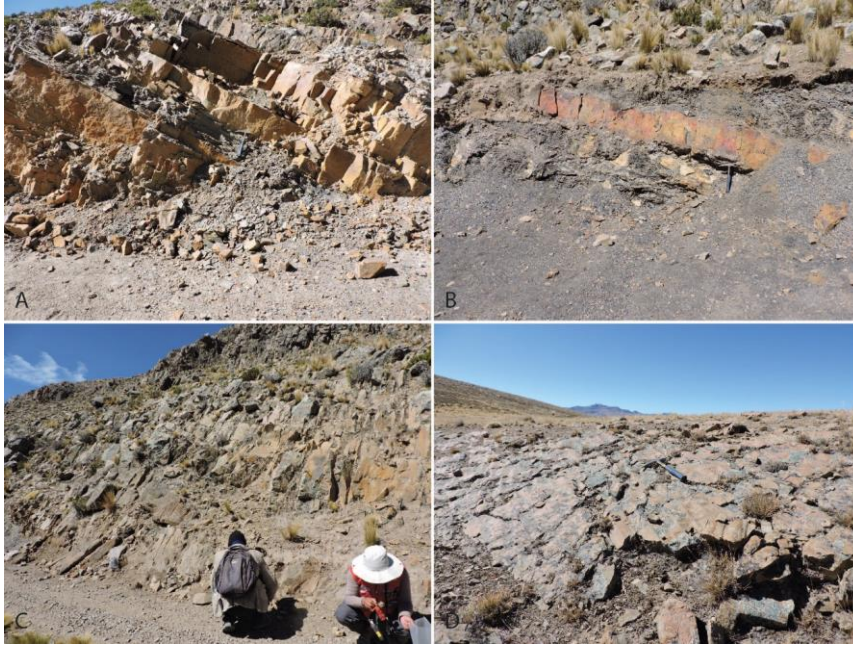


Figura 3.5. A, B, C. Afloramiento de la Formación Labra, areniscas intercaladas con niveles de lutitas ubicadas en cercanías del poblado de Chaje. D. Areniscas cuarzosas, ubicado en la Quebrada Patillane.

C. Formación Gramadal

Esta unidad ha sido identificada por Jenks (1948) y definido por Benavides (1962), y cuya localidad tipo se encuentra en el departamento de Arequipa con un espesor de 82m. Consiste de calizas de color gris que intemperizan a marrón amarillento oscuro, en estratos gruesos y extremadamente fosilíferos, y con interstratificaciones abirragadas y margosas.

En el cuadrángulo de Ichuña, en la localidad de Pampilla debajo de una intercalación de 30m de calizas negras se hallan calizas margosas y margas limolíticas negras (*Marocco & Del Pino, 1966*). Asimismo, en el flanco del anticlinal de Yunga se distingue una Unidad Carbonatada, conformada por calcarenitas y calcilitas gris oscuras en bancos medianos con una abundante fauna de nerineas, ostras pequeñas, corales y restos de equinodermos, que suman un espesor de 50m. Esta unidad fue correlacionada con la Formación Gramadal (*Vicente, 1981*). Asimismo, en el cerro Cruzani, también se define una unidad Carbonatada de 80m de espesor, conformada por calizas de color gris azulado, clasificadas como calizas oolíticas y packstone (*Torres, 1995*). En el sector de Curire-Chaclaya se reconoció a la Formación Gramadal,

mediante una columna estratigráfica de 235m de espesor y un estudio petrográfico detallado (Cruz, 1996). En las cercanías del complejo volcánico Chucapaca se describe calizas con registro de fósiles de bivalvos e intercalaciones delgadas de areniscas calcáreas y lutitas, cuyo espesor es de 280m (Remigio, 2012).

En el cuadrángulo de Pichacani, en el cerro Pucara yace sobre la Formación Labra. Litológicamente está conformada por calizas grises con chert entre packstone y mudstone con fósiles mal conservados, intercalados con algunos niveles de cuarcita y dolomita en la parte inferior, suma un espesor medio de hasta 250m (Rodríguez et al., 2000). Asimismo, se reconoce la Formación Gramadal en la localidad de Chaje donde se realiza el levantamiento de una columna estratigráfica de 170 m de espesor y el estudio petrográfico (Cuellar, 2001).

En este trabajo la Formación Gramadal se reconoció mediante el levantamiento de tres columnas estratigráficas ~~de la unidad litológica II~~ ubicadas en la Quebrada Pataqueña y en las localidades de Chaje y Mormontayoc, con un espesor de 375 m, ~~constituida de calizas mudstone que hacia el techo están intercaladas con areniscas de grano medio~~ 250 m ~~conformada de calizas mudstone en la base y al techo calizas intercaladas con areniscas y lutitas. y fin~~ y 400 m, respectivamente. Litológicamente, está conformada por calizas con registros fósiles de bivalvos, gasterópodos e intercalaciones delgadas de areniscas calcáreas, tienen una coloración gris oscura azulada (Figura 3.6 A, B, C y D).

Edad y correlación: Los especímenes encontrados en el cerro Cruzani, responden a las especies de *Turritella* y otros gasterópodos indiferenciados. *Exógira*, Bivalvos ind. *Nerinea* sp. y estructura algares. La *Exógira* es fósil guía del cretáceo y por haber sido encontrada en la Formación Gramadal de otras áreas cercanas se cree que se trate de la misma unidad (Torres, 1995). En el cuadrángulo de Pichacani se han recolectado una buena cantidad de fauna marina como: Briozoarios ind, Bivalvos ind, Gasterópodos ind, *Ammobaculites* sp, *Gryphaea*, equinoideos, etc. Sin embargo, estos fósiles no ayudaron a determinar una edad precisa, debido al rango amplio que dan en la escala geológica, pero litológicamente se le correlaciona con la Formación Gramadal (Titoniano superior a Neocomiano inferior) de la región de Arequipa (Rodríguez et al., 2000).



Figura 3.6. A, B. Calizas bioclásticas ubicadas en cercanías del poblado de Chaje. C, D. Afloramientos de calizas ubicadas en la Quebrada Pataqueña.

3.1.1.2. Cretáceo-Formación Hualhuani

La localidad tipo de esta unidad se encuentra en el departamento de Arequipa, inicialmente fue estudiada por Jenks (1948) y posteriormente por Dávila (1989). Consiste de una arenisca cuarcítica, de grano fino, blanca, que intemperiza a un color amarillento claro o rojo amarillento claro, en estratos gruesos, notablemente duros y macizos. En el cuadrángulo de Ichuña, se describe como una secuencia de cuarcitas de grano fino a medio de color blanco o gris con manchitas de limonita o magnetita en fractura fresca, presentan estratificación cruzada con ondulitas y algunos niveles delgados de conglomerados intraformacionales (Marocco & Del Pino, 1966). Asimismo, en los flancos del Anticlinal de Yunga se reconoce una Unidad Cuarcítica constituida por cuarcitas de grano fino a medio de color blanco o gris rosado en bancos medios a gruesos y con algunas intercalaciones escasas e irregulares de lutitas negras (Vicente, 1981). En el cerro Huancarani también se reconoció una unidad cuarcítica, que sobreyace en discordancia a la unidad carbonatada. Litológicamente consiste de cuarcitas blanquecinas en estratos de mediano espesor intercalados con algunos estratos de lutitas negras y delgados horizontes de carbón hacia la base (Torres, 1995). En el cerro Chucapaca se ha

realizado el levantamiento de una columna estratigráfica y estudio petrográfico. Está constituida por una alternancia de cuarcitas con estratificación cruzada, areniscas y limos, que suman un espesor de 415m (Cruz, 1996). En la localidad de Pampilla afloran cuarzoarenitas blancas con laminación oblicua y paralela intercaladas ocasionalmente con horizontes de lutitas negras carbonosas, que en total suman un espesor de 300m. En las cercanías del complejo volcánico Chucapaca está conformada predominantemente por cuarzo-areniscas de tonalidad blanco-crema, con óxidos de hierro (jarosita) que rellenan fracturas, presenta estratificación sesgada y niveles delgados de lutitas carbonáceas. Tienen un espesor estimado de 1000m (Remigio, 2012).

En el cuadrángulo de Pichacani, en la quebrada Tucsuma, se describe una serie potente de areniscas cuarzosas de color blanquecino a rosado, con laminación oblicua y algunos niveles de lutitas negras con pirita, que suman un espesor total de 450m. El contacto con la Formación Gramadal es progresivo (Rodríguez et al., 2000). En la localidad de Chaje se describe una unidad arenosa conformado por una secuencia monótona de areniscas cuarzosas con laminación oblicua curva, plana y horizontales que suman un espesor de 350m (Cuellar, 2001).

En el presente trabajo la Formación Hualhuani fue reconocida mediante el levantamiento de tres columnas estratigráficas, ~~de la unidad litológica~~ ubicadas en la Quebrada Pataqueña, localidad de Chaje y Mormontayoc, con espesores de 375 m, 250m y 400 m. Litologicamente, la unidad está conformada por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, con laminaciones sesgadas y oblicuas y esporádicamente con delgados niveles de lutitas negras (Figura 3.7 A, B, C y D).

Edad y correlación: En los sectores de Chapi (Chávez, 1982) y Coalaque –Omate se le asignan una edad Titoniano medio (Guillén, 1983).

Torres (1995), en la zona de Ichuña le asignó una edad del Valangiano al Barremiano, y por similitud litológica la correlaciona con las rocas del mismo nombre que afloran en las zonas de la Capilla, Chapi, Omate, Carumas y Yura.



Figura 3.7. A, B. Vista al Noroeste, areniscas cuarzosas de grano medio de color blanca con ripples de bajo ángulo, pertenecientes a la Formación Hualhuani, en la localidad de Chaje. **C, D.** Vista al Suroeste, afloramiento de areniscas cuarzosas con estructuras sesgadas, pertenecientes a la

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El estudio corresponde a las rocas más antiguas del área, siendo las rocas mesozoicas del Grupo Yura (formaciones Cachíos, Labra, Gramadal) y la Formación Hualhuani, las cuales se caracterizan por la presencia de lutitas, limolitas carbonosas y areniscas grises, ubicadas entre las localidades de Antajahua, Santa Cruz de Oyo Oyo, Ichuña, Yunga, La Pampilla, Tolerani, Pobaya, Pilliconi, Mormontayoc, Chaje, Pilliconi, Runachaqui y Quebrada Patillada. Se realizó un análisis sedimentológico y litogeoquímico que se describe a continuación:

4.1. ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO

4.1.1. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

En la margen izquierda del Río Tambo, cerca de la localidad de Yunga, se identifica una secuencia del Grupo Yura bastante expuesta donde se realizó el levantamiento estratigráfico de las formaciones Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani, obteniendo un espesor total de 500 metros. Por otro lado, se levantó el registro estratigráfico de las mismas formaciones cerca de la localidad de Chaje, adquiriendo un espesor de 750 metros, mientras que las columnas registradas en las localidades de Mormontayoc y Quebrada Patillada, tienen un espesor de 510 metros y 150 metros respectivamente.

4.1.1.1. FORMACIÓN CACHÍOS - UNIDAD LUTÁCEA (LUTITAS NEGRAS, LIMOS CARBONOSOS Y NIVELES DE ARENISCAS): *Se le observa entre las localidades de Yunga, Chaje y Quebrada Patillada.*

Columna estratigráfica Yunga (350m) .- Se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica entre las coordenadas Este (319761, 319385) y Norte (8208400, 8208033) (Figura 4.1), a la base se observa una secuencia de lutitas negras con nódulos de aproximadamente 2 cm (Foto N°1), intercaladas con niveles de areniscas de coloración gris verdoso de grano fino a medio, con laminaciones paralelas y con paleocorrientes (240, 130 y 140), el rumbo y buzamiento de los estratos de arenisca es de N110° 45°S y N112° 53°S, al techo de estos estratos se observa ripples de corriente (Foto N°2) y estructuras de escape de agua, posteriormente se repite la secuencia de lutitas negras, esta vez con nódulos de un diámetro menor, aproximadamente de 1cm, intercaladas con niveles de areniscas de coloración gris verdoso de grano medio, la medida de paleocorrientes es de 50 y 63, al techo de estos estratos se observa ripples de corriente y un nivel de arenisca carbonosa, con tallos fósiles (Foto N°3) con coordenadas Este (319681) y Norte (8208306), mediante Informe Paleontológico se reporta un molde externo de tallo fragmentado de edad Berriasiano-Barremiano? (Anexo N°3). Posteriormente aparece un slump de aproximadamente 2 m, con paleopendiente 345°, (Foto N°4), seguidamente se visualizan 6 m de arenisca masiva de grano medio a fino, 4 m de lutitas y 13 m de arenisca gris clara y gris oscura en el que se observa un hummocky de 50 cm

aproximadamente (Foto N°5), a continuación se observa bancos de limos de coloración gris oscura con presencia de nódulos de 5 cm aproximadamente intercalados con lutitas negras, luego se presenta una secuencia de limos y areniscas con laminaciones (Foto N°6), continúan areniscas gris claras con presencia de un hummocky, a 30 metros de él se observa un slump con paleopendiente 135°, sigue una intercalación de lutitas negras deleznales y areniscas grises, posteriormente se reportan 2 slumps y finalmente sigue una secuencia de lutitas negras con areniscas grises. Al tope de la columna se observa un nivel de coloración rojiza, denominado hard ground.



Foto N°1. Lutitas con nódulos de 2cm



Foto N°2. Ripples de



Foto N°3. Molde externo de tallo fragmentado.



Foto N°4. Slump de aproximadamente 2 m, con vista al



Foto N°5. Hummocky de aproximadamente 50cm.

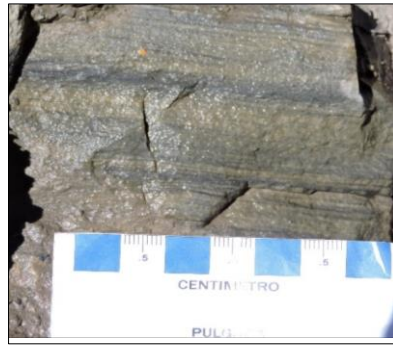


Foto N°6. Laminaciones en niveles de

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA YUNGA

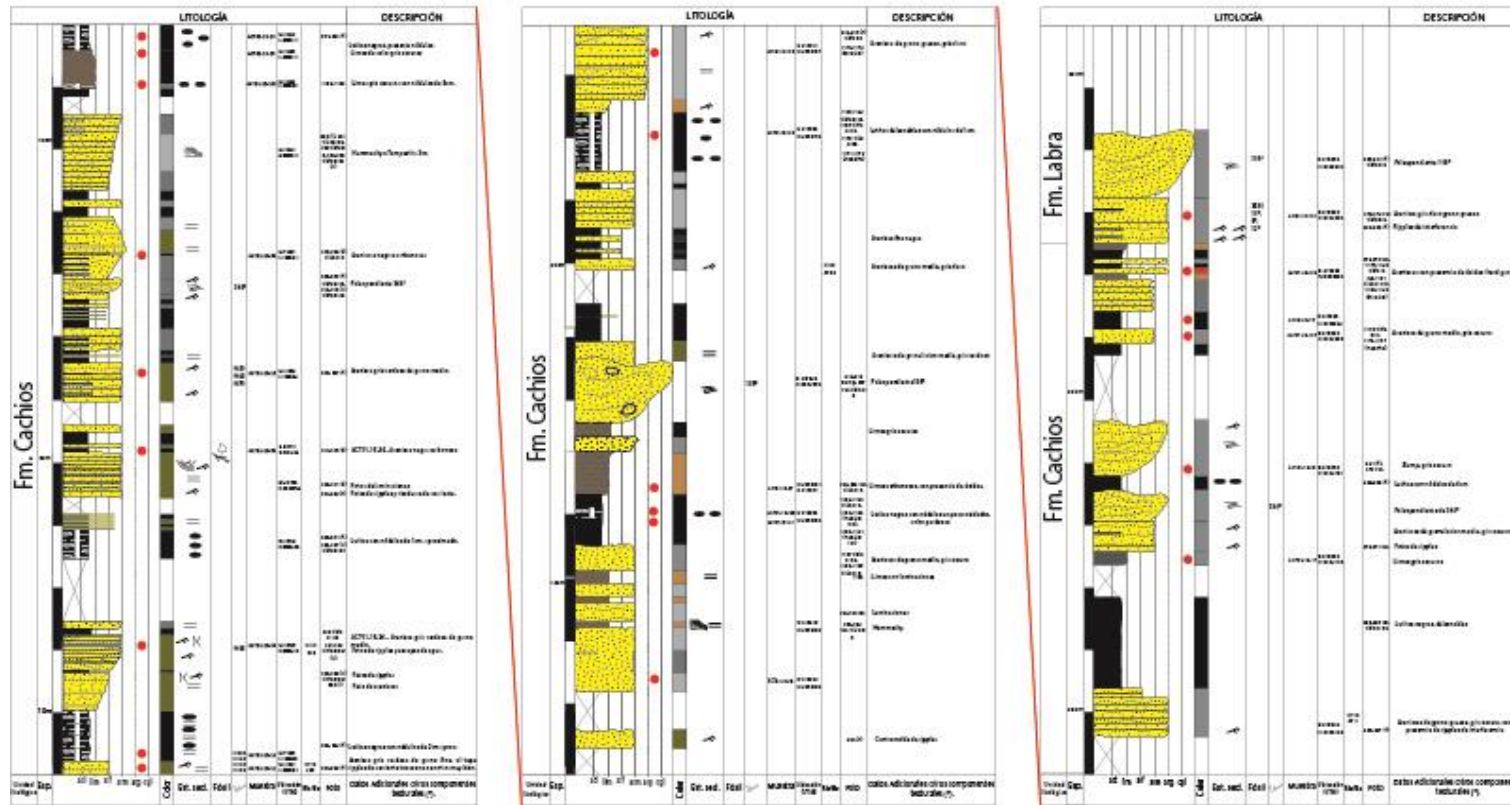


Figura 4.1. Columna estratigráfica de 310 metros de espesor, ubicada cerca de la localidad de Yunga, entre las coordenadas Este (319761, 319385) y Norte (8208400, 8208033). Se colectaron 20 muestras para estudios geoquímicos y paleontológicos.

Columna estratigráfica Chaje (475m) .- Se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica entre las coordenadas Este (341652, 319385) y Norte (8199766, 8208033) (Figura 4.2), a la base se observa limos carbonosos, seguidos de 30 metros de lutitas negras con nódulos de 5 a 10 cm, y presencia de amonites en las coordenadas Este (341635) y Norte (8199703); mediante Informe Paleontológico se identifican dos taxones: *Megarietites sp.* de edad Sinemuriano y *Phylloceratidae* de edad Hettangiano-Toarciano (Anexo N°3). Seguidamente se observa un slump de aproximadamente 15 metros, seguido de una intercalación de lutitas negras, limos y niveles de areniscas de coloración gris oscuro de grano fino a medio, con laminaciones paralelas y con presencia de paleocorrientes (N200, N180), en uno de los niveles de areniscas se observa un hummocky, a 28 metros se reporta un nivel de arenisca con presencia de óxidos, al cual le denominamos hard ground, posteriormente se visualizan 10 metros de arenisca de grano fino con laminaciones, al techo de estos estratos se observa ripples de corriente, sigue una intercalación de lutitas negras con limos, continuando dos slumps. Posteriormente se registra la intercalación de lutitas negras, limos y niveles de areniscas con laminaciones. (Figura 4.3, A-F)

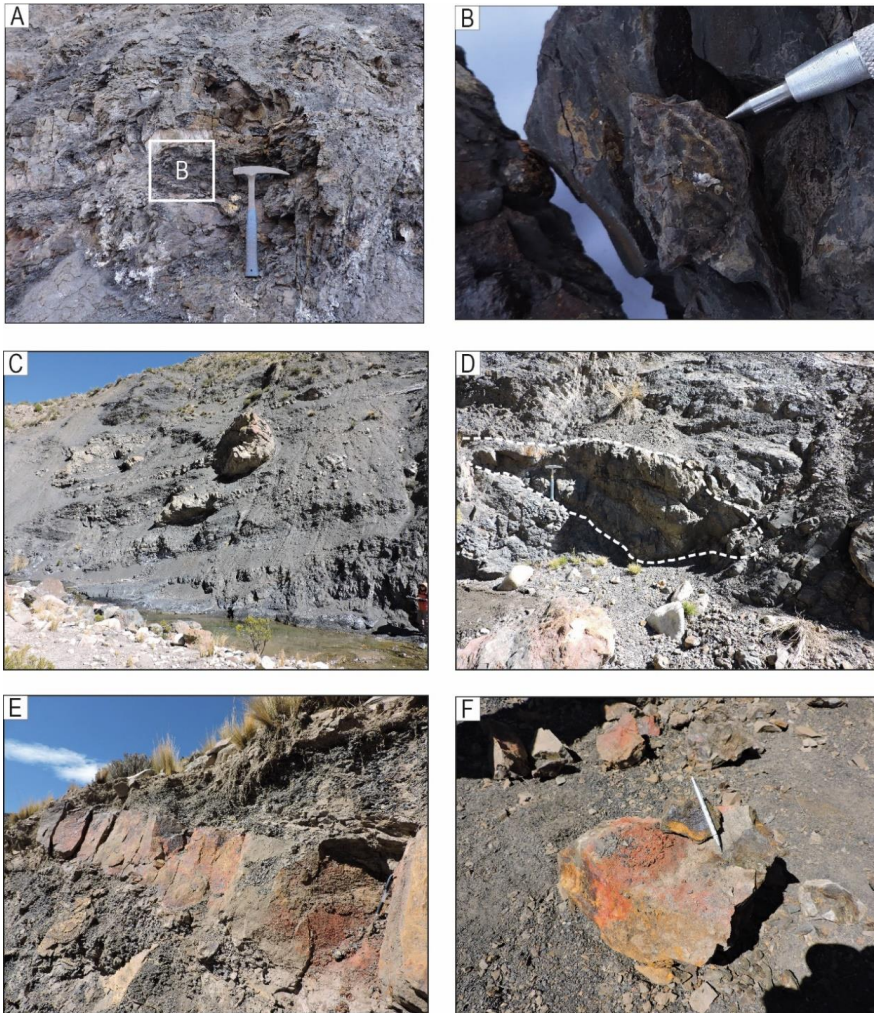


Figura 4.3. **A.** Afloramiento de lutitas negras con presencia de amonites. **B.** Muestra de amonite ACT1-15-106. **C.** Slump de 15m aproximadamente, con vista al Noroeste. **D.** Hummocky con vista al Suroeste. **E.** Afloramiento de arenisca con oxidación (hard ground). **F.** Muestra de hard ground ACT01-15-117.

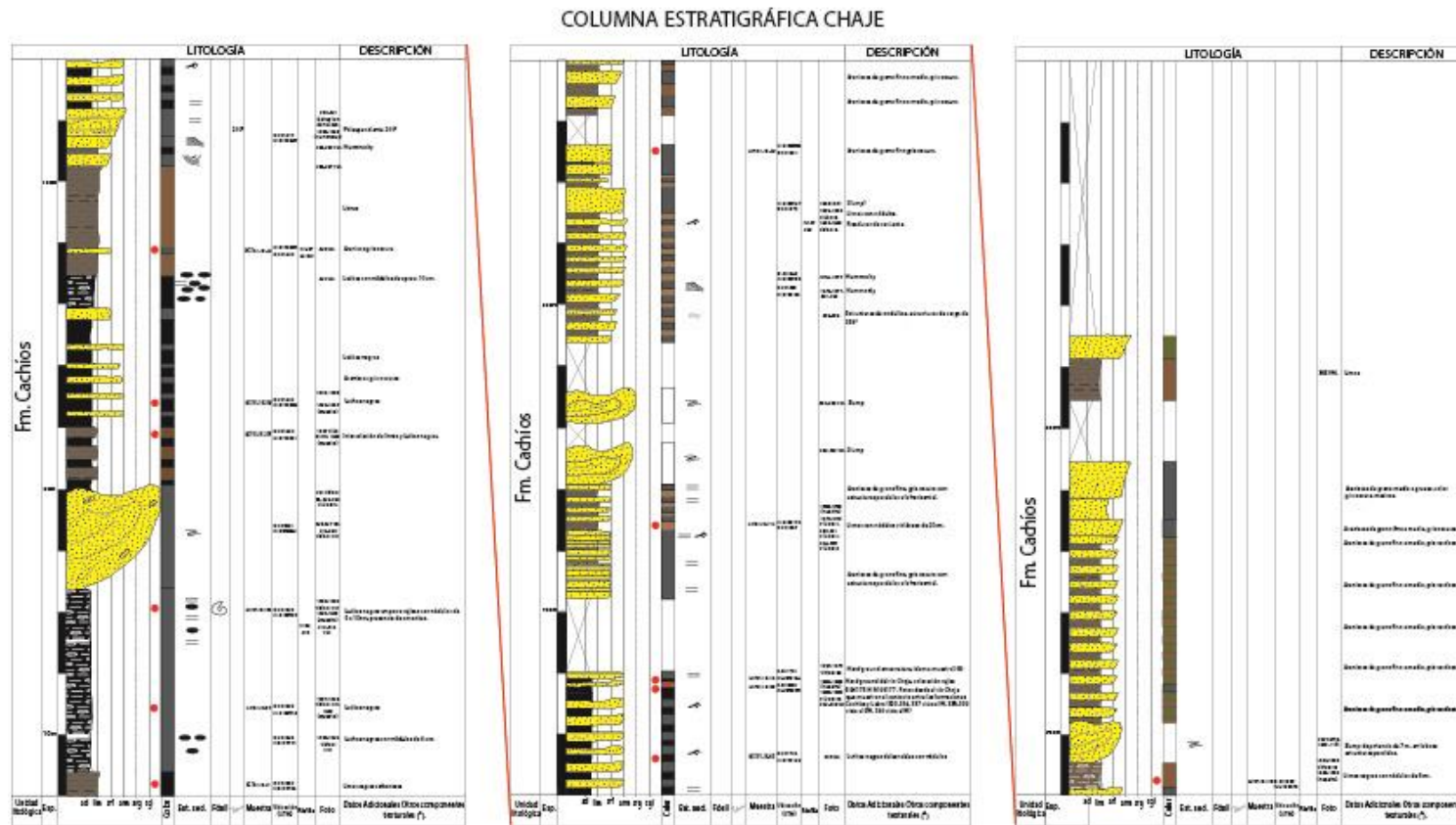


Figura 4.2. Columna estratigráfica de 475 metros de espesor, fue levantada en la localidad de Chaje, entre las coordenadas Este (341652, 319385) y Norte (8199766, 8208033). Se colectaron 18 muestras para estudios geoquímicos y paleontológicos.

Quebrada Patillada (50 cm).- Se reportan lutitas negras con presencia de nódulos (Foto N°7 y 8), con coordenadas Este (346243) y Norte (8195643). En esta zona no se registró una columna estratigráfica de las unidades lutáceas, debido a que no se observó la continuidad de los estratos.



Foto N°7. Afloramiento de lutitas negras con nódulos



Foto N°8. Muestra de lutitas con presencia de óxidos

4.1.1.2. FORMACIÓN LABRA - UNIDAD ARENOSA (ARENISCAS GRISES CON INTERCALACIONES DE LUTITAS Y LIMOS):

Se le observa entre las localidades de Yunga, Chaje, Mormontayoc y Quebrada Patillada.

Columna estratigráfica Yunga (150m).- Se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica (Figura 4.4) entre las coordenadas Este (319379, 319491) y Norte (8208027, 8207923), después del nivel de arenisca endurecido, se reconocen niveles de areniscas de grano grueso de coloración gris oscura, con presencia de ripples de interferencia y con medidas de paleocorrientes (355, 10, 5,12), luego se visualiza 2 slupms con coordenadas Este (319385) y Norte (8208033), posteriormente se observa arenisca de coloración gris verdosa de grano medio a grano grueso seguida de arenisca de color gris clara con presencia de ripples, siguen 40 metros de areniscas de grano medio intercaladas con limos gris oscuros y lutitas negras, estas areniscas presentan estructuras de ripples y laminaciones; posteriormente se observa 12 metros de areniscas de grano fino a medio de coloración gris clara intercaladas con niveles de lutitas negras. Finalmente, se registra 50 metros de arenisca de coloración gris blanquecina con presencia de ripples y laminaciones, al tope de la columna se presenta un nivel de arenisca con óxidos denominada hard ground (Figura 4.5, A-D).



Figura 4.5. **A.** Afloramiento de arenisca con presencia de hard ground. **B.** Ripples de interferencia, vista al Este. **C.** Ripples en areniscas grises óxido (hard ground). **D.** Laminaciones cruzadas en areniscas.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA YUNGA

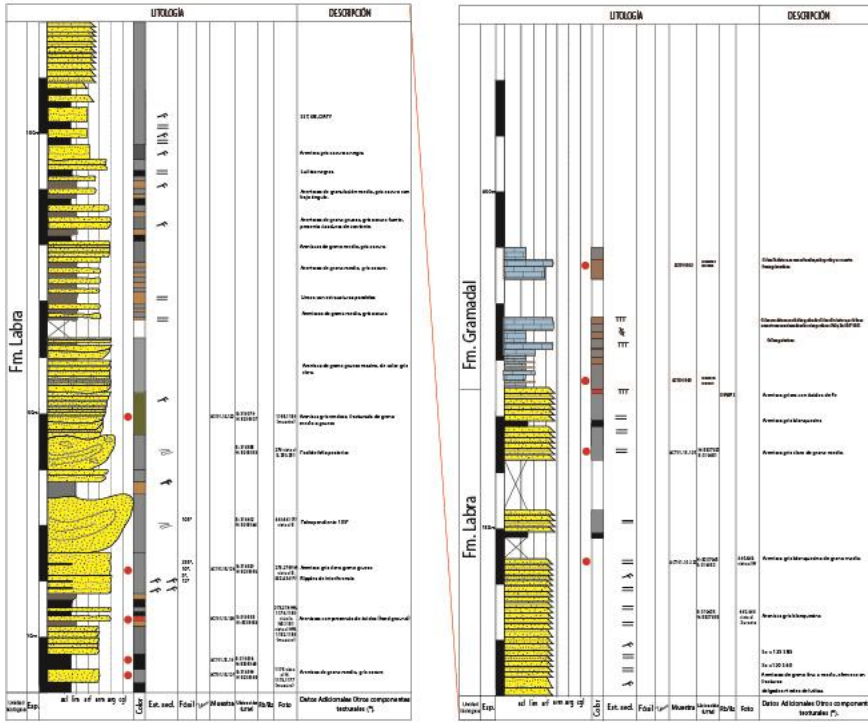


Figura 4.4. Columna estratigráfica de 125 metros de espesor, levantada cerca de la Localidad de Yunga, entre las coordenadas Este (319379, 319491) y Norte (8208027, 8207923).

Columna estratigráfica Chaje (260 m) .- Se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica (Figura 4.6) entre las coordenadas Este (341051, 340970) y Norte (8198564, 8198490), a la base se observa una secuencia de areniscas de grano medio a grueso de coloración gris clara, con estructuras de laminación sesgada, las areniscas se encuentran intercaladas con delgados niveles de limos y niveles de arenisca de coloración gris verdosa las cuales tienen estructuras de ripples; hacia arriba se observa 45 metros de arenisca cuarzosa y masivas de coloración gris clara, continúan 10 metros de arenisca gris oscura y 15 metros de limos, los cuales presentan nódulos en el techo. con laminación sesgada, intercaladas con delgados niveles de limos. Al techo de esta secuencia se observa 20 metros aproximadamente de lutitas negras con nódulos seguida de un slump, continúa una segunda secuencia de niveles delgados de areniscas intercalados con lutitas y limos, predominando las areniscas, cerca al techo se observa un nivel de hard ground, la secuencia también termina con un slump. La tercera secuencia de 60 metros presenta areniscas más cuarzosas y masivas de coloración gris clara; a la base de ellas se observa ripples y laminaciones sesgadas (Foto N°9). En la última secuencia se observa un estrato de 20 metros aproximadamente de limos negros con presencia de nódulos (Foto N°10), terminando con 20 metros de intercalación de limos con areniscas de grano fino y coloración gris clara (Foto N°11), presentan ripples de interferencia al techo (Foto N°12).

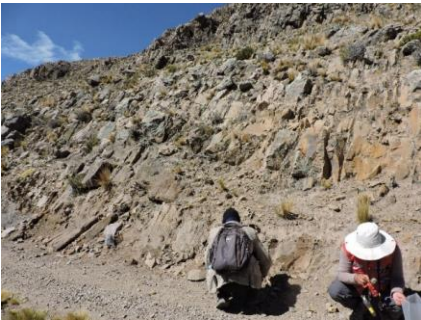


Foto N°9. Intercalación de limos y areniscas.



Foto N°10. Limos negros con nódulos.

Vista al Nor este.



Foto N°11. Intercalación de limos y areniscas, vista al Nor este.



Foto N°12. Ripples de interferencia, vista al Nor este.

Columna estratigráfica Mormontayoc (380m).- Se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica (Figura 4.7) entre las coordenadas Este (338644, 338146) y Norte (8202427, 8201928), a la base se observa una secuencia de arenisca de grano medio a grueso de coloración gris verdosa, con presencia de ripples y laminaciones horizontales, las medidas de paleocorrientes son N185, N175, N173, N164, N180, N168, seguidamente la arenisca cambia a un color gris claro, es de grano medio y con laminaciones horizontales, posteriormente se observa arenisca calcárea, que efervece ligeramente y la coloración se torna a un gris oscuro, luego aparecen 60 metros de arenisca masiva, de grano medio y de coloración gris oscura, al tope se observa una intercalación de areniscas de color gris claro y areniscas gris oscuras. (Figura 4.8, A y B)

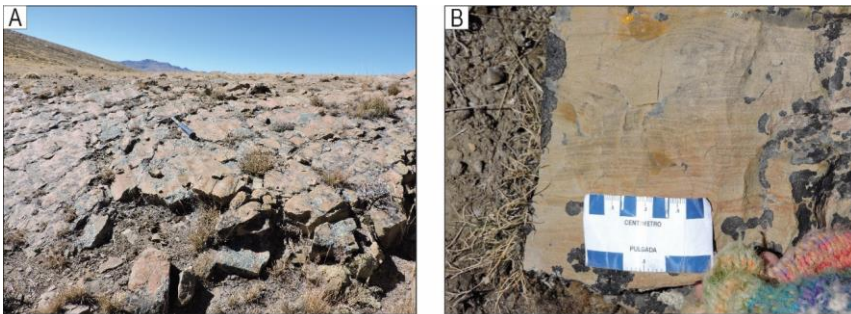


Figura 4.8 A. Vista al Este de ripples en areniscas grisáceas de la Formación Labra. B. Laminaciones horizontales en areniscas de la Formación Labra.

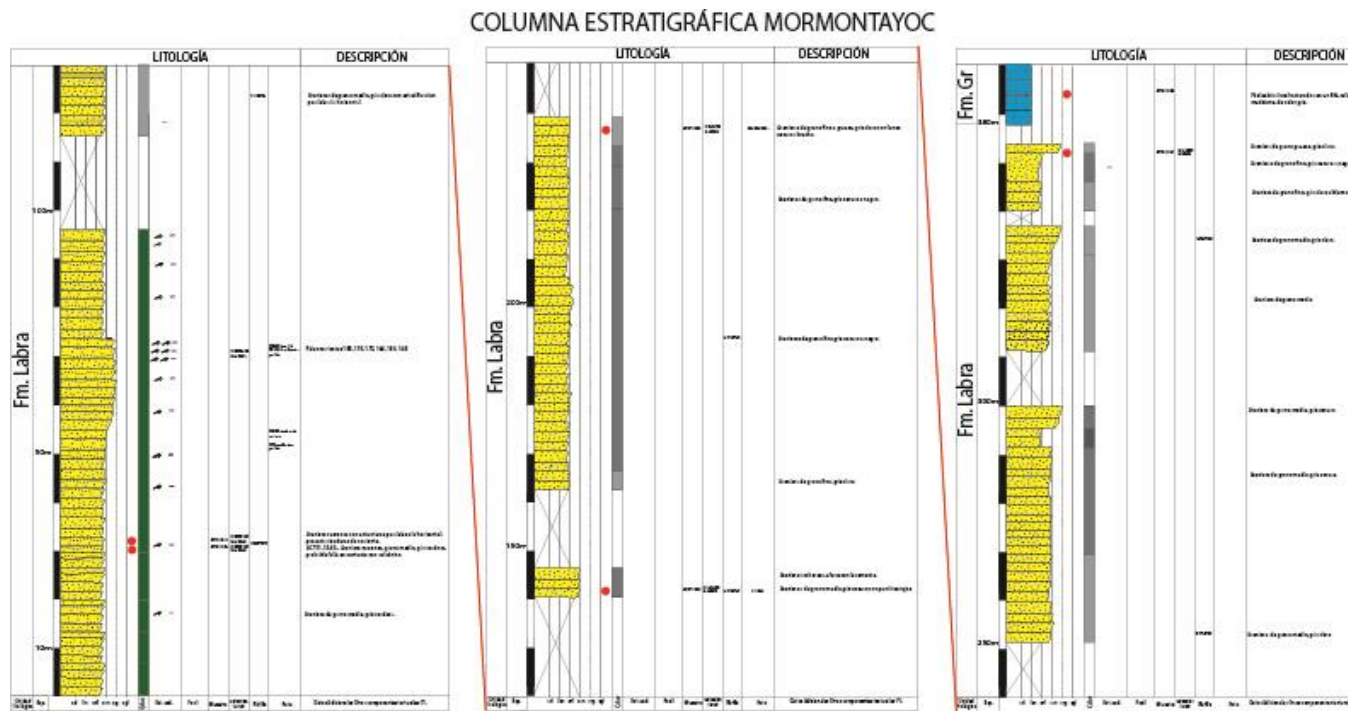


Figura 4.7. Columna estratigráfica de 380 metros de espesor con predominancia de areniscas. El levantamiento se realizó cerca al poblado Mormontayoc entre las coordenadas 338644 (E), 8202427 (N) y 338146 (E), 8201928 (N). Se colectaron 5 muestras para estudios geoquímicos.

Columna estratigráfica Quebrada Patillada (82m).- Se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica (Figura 4.9) entre las coordenadas Este (346410, 346278) y Norte (8195750, 8195683); a la base se observa arenisca de grano fino a medio de coloración gris clara, seguida de un nivel de arenisca con presencia de óxido (hard ground), con coordenadas 346403 (E) y 8195735 (N), seguidamente se observan estratos de arenisca de grano medio y coloración gris oscura con presencia de ripples, intercalada con arenisca de coloración gris clara y niveles delgados de limos carbonosos (Figura 4.10, A-D)

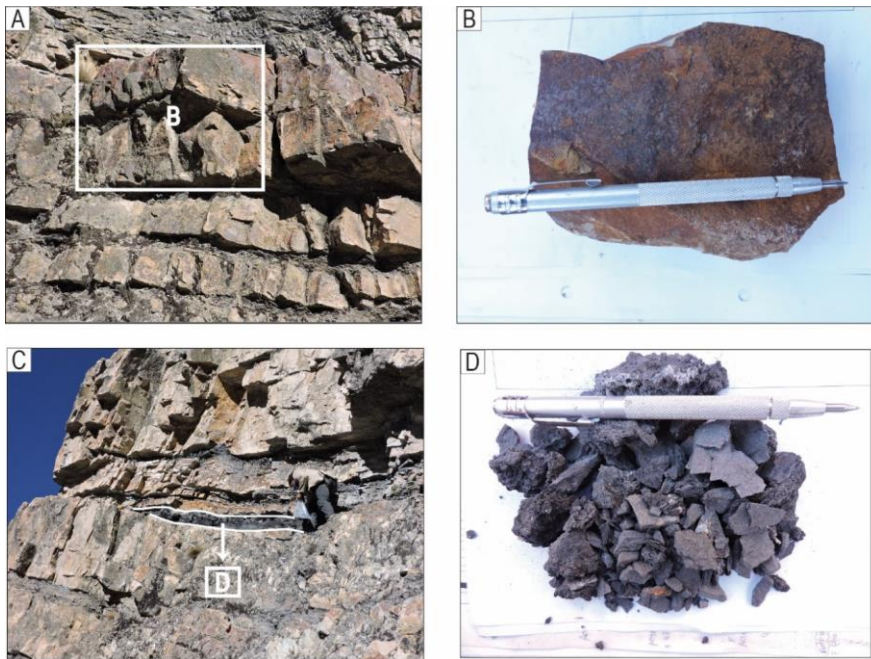


Figura 4.10. A. Afloramiento de arenisca con presencia de óxido. B. Muestra de hard ground ACT1-15-87. C. Afloramiento de arenisca intercalada con niveles delgados de limos carbonosos.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA QUEBRADA PATILLADA

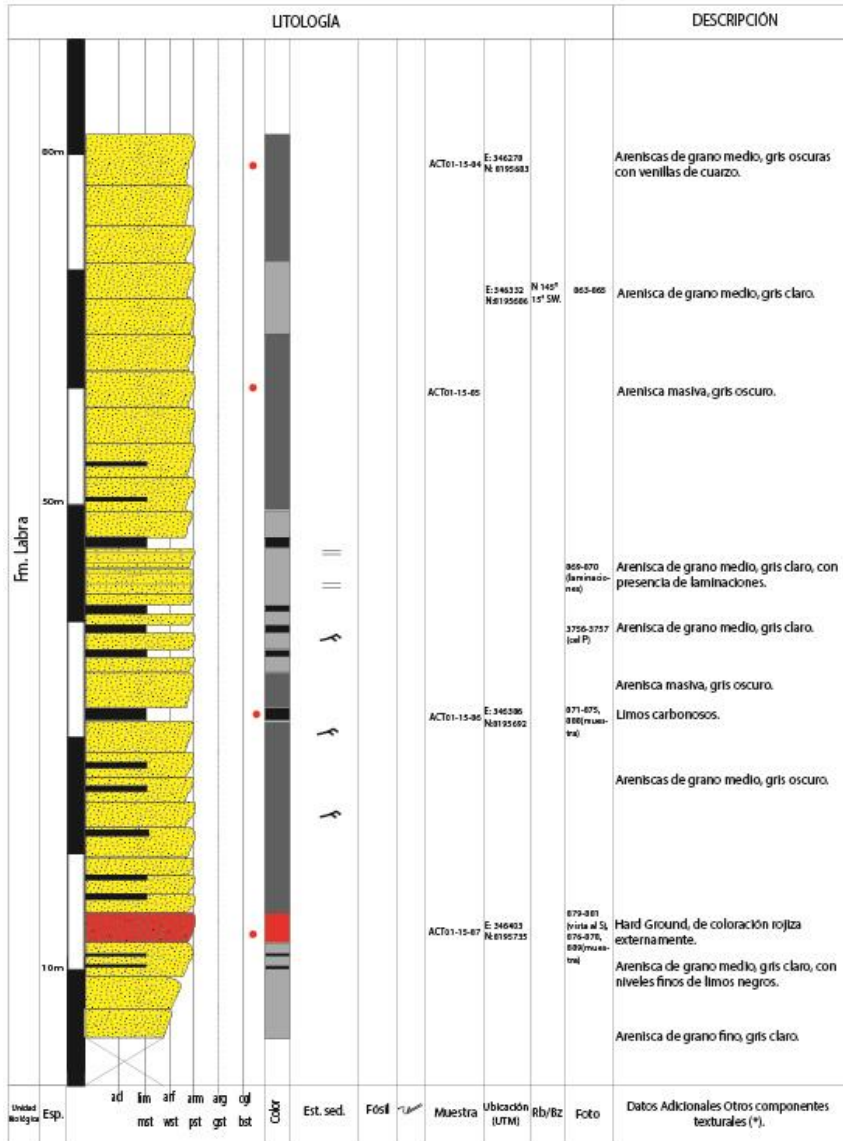


Figura 4.9. Columna estratigráfica de 82 metros de espesor. El levantamiento se realizó en la Quebrada Patillada, entre las coordenadas 346410 (E), 8195750 (N) y 346278 (E), 8195683 (N). Se colectaron 4 muestras para estudios geoquímicos.

4.1.1.3. FORMACIÓN GRAMADAL – UNIDAD CALCÁREA (CALIZAS GRISES FOSILIFERAS, LUTITAS NEGRAS Y ARENISCAS CALCAREAS):

Las rocas de la Formación Gramadal afloran principalmente en el sector suroeste de la subcuenca de Ichuña y hacia el noreste de la subcuenca Yarihualla entre las localidades de Mormontayoc, Chaje y Quebrada Pataqueña, suprayacen a la Formación Labra (areniscas y lutitas) e infrayacen concordantemente a la Formación Hualhuani (areniscas cuarzosas), de manera predominante se observan como fajas aisladas y alargadas que tienen una dirección NO-SE. Litológicamente predominan calizas con registros fósiles de bivalvos, gasterópodos e intercalaciones delgadas de areniscas calcáreas, tienen una coloración gris oscura azulada. En la margen izquierda del Río Huanuni una falla inversa pone en contacto a calizas grises mudstone con presencia de fauna fósil sobre areniscas cuarzosas y cuarzoarenitas de la Formación Hualhuani. Al noreste del Proyecto Canahuire (Figura 4.11), se observan afloramientos de calizas packstone en contacto fallado con rocas alteradas, que corresponden a areniscas y limolitas de la Formación Labra afectadas por alteración hidrotermal. Las calizas con presencia presentan de bivalvos y gasterópodos, colectándose una muestra ACT01-15-061 (Foto 13).



Figura 4.11. Afloramiento de calizas de la Formación Gramadal en contacto fallado con rocas alteradas de la Formación Labra, unidad litológica Va. Vista al noroeste desde el



Foto 13. ~~Detalle de Afloramiento de~~ calizas packstone con fósiles de bivalvos y gasterópodos. Presenta ~~con~~ venillas de calcita.

Al sur del poblado de Runachaqui, en la margen izquierda del Río Crucero, se observa el contacto entre las Formaciones Gramadal, Hualhuani y Maure, correspondientes a unidades calcáreas, arenosas y areniscas tobáceas, mientras que en la margen derecha se observan secuencias de calizas grises fosilíferas, lutitas negras y areniscas calcáreas, encima yace una secuencia de areniscas cuarzosas, ambas secuencias se encuentran plegadas y corresponden a las formaciones Gramadal y Hualhuani, respectivamente. En discordancia yace una secuencia de andesitas basálticas de topografía agreste y una secuencia de color blanquecina conformada por areniscas tobáceas, limolitas, microconglomerados y tobas pertenecientes a los grupos Tacaza y Maure, respectivamente (Figura 4.12).

Cerca de la localidad La Pampilla, en la margen derecha del Río Tambo, se observa el contacto de las formaciones Gramadal y Hualhuani en donde las calizas infrayacen concordantemente a las areniscas cuarzosas (Figura 4.13).



Figura 4.12. Vista al norte desde el Rfo Cruzero, donde se observa el contacto entre rocas calcáreas, arenosas y arenisca tobáceas correspondientes a las formaciones Gramadal, Hualhuani y Maure.

Con formato: Fuente: 11 pto, Color de fuente: Negro

Con formato: Justificado, Sangría: Primera línea: 0 cm

Con formato: Fuente: 11 pto, Color de fuente: Negro



Figura 4.13. Afloramiento con vista al Noroeste de calizas que infrayacen concordantemente a areniscas cuarzosas, ubicado cerca de la localidad La Pampilla en el valle del Rfo Tambo. cuadrángulo de Ichuña (33u).

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm, Interlineado: sencillo

con una superficie de 375 m² en el lado sur del río, y una superficie de 275 m² en el lado norte del río, en total una superficie de 650 m². La zona está rodeada por cerros de granito y se encuentra en el cuadrángulo de Ichuña (33u).

Con formato: Justificado

en la localidad de Mormontayoc con un espesor de 400 m. La descripción de las columnas correspondiente a la Formación Gramadal se detallan en el capítulo 4 de la tesis.

Columna estratigráfica Quebrada Pataqueña (375).-

Gramadal medida en la Quebrada Pataqueña de la localidad de Pilliconi (Figura 4.14) con coordenadas N: 8195583; E: 338247, la cual muestra dos secuencias estratigráficas. La primera secuencia (240 m.), empieza con calizas endurecidas rojizas por oxidación (hardground) y esporádicos niveles de arenisca cuarzosa de grano medio seguida de calizas wackestone con presencia de burrows, hacia el techo de esta secuencia se observan calizas packstone con Slump de aproximadamente de 15 metros de diámetro (Foto 14). La segunda secuencia (135 m.), consiste en calizas mudstone intercaladas con areniscas masivas cuarzosas de grano medio.



Foto 14. Se observa un Slump de calizas packstone de 15m de diámetro aproximadamente, ubicado cerca de la localidad de Chaje (33u).

Fig. 3.8. Columna estratigráfica de 80 metros de espesor con predominancia de areniscas

Con formato: Fuente: 10 pto, Negrita

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm, Derecha: 0 cm, Interlineado: Múltiple 1.15 lín.

Con formato: Justificado

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - QUEBRADA PATAQUEÑA

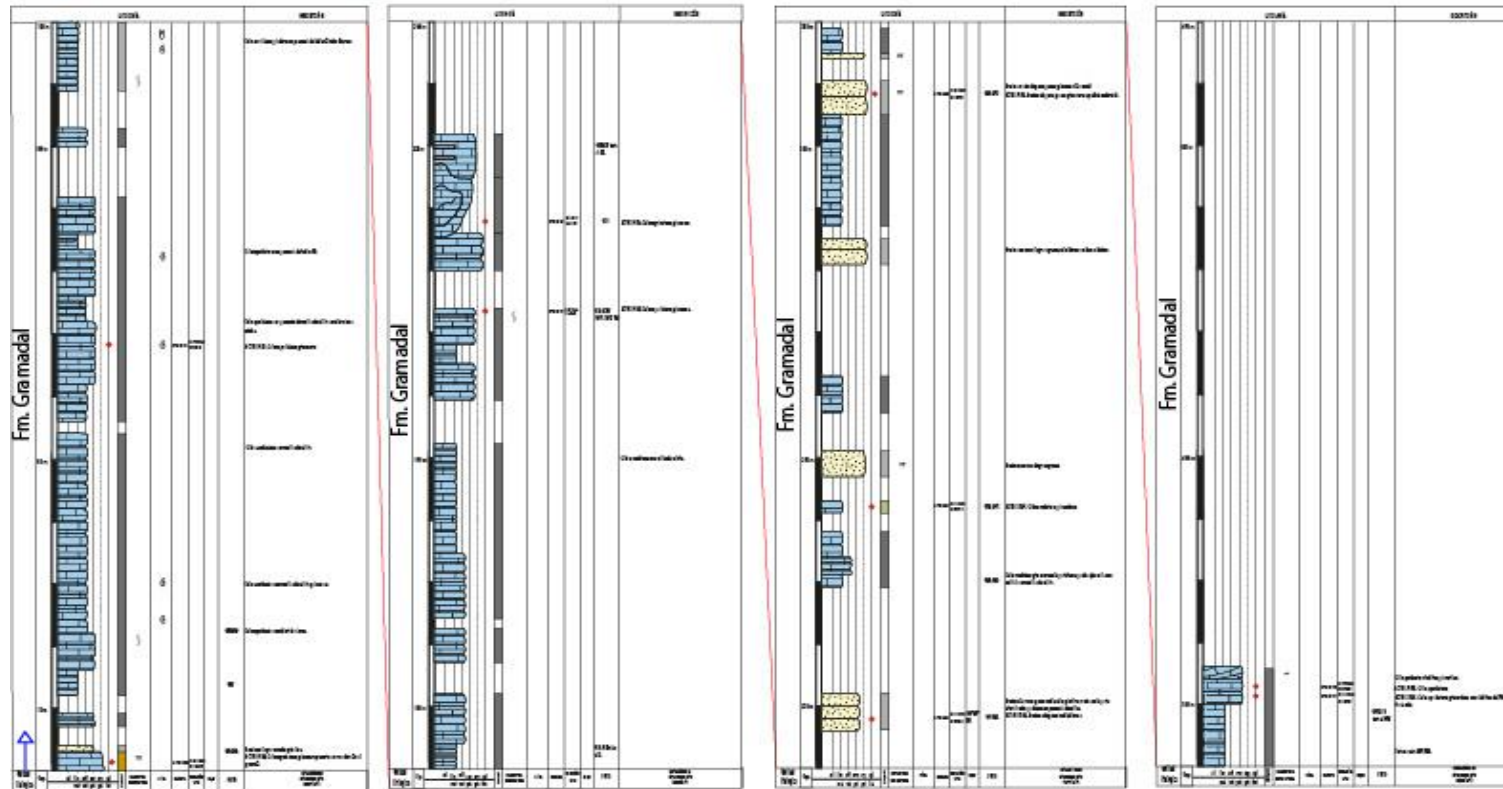


Figura 4.14. La columna estratigráfica se levantó en la Quebrada Patillada, entre las coordenadas Este 338247 y Norte 8195583. Cuyo espesor es de 375 metros. Los puntos rojos corresponden a muestras.

Columna estratigráfica Chaje (250m).- Sección estratigráfica medida en la localidad de Chaje (Figura 4.15) con coordenadas Este 340695 y Norte 8198194. Esta unidad calcárea sobreyace ~~sobre a~~ la Formación Labra, muestra tres secuencias: la primera secuencia (60 m), está conformada netamente ~~de por capas de~~ calizas fosilíferas de 50 cm. de espesor (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), la segunda secuencia (140m), constituye esencialmente de calizas fosilíferas de color gris azuladas (Foto), y por último la tercera secuencia (50m), consta de calizas fosilíferas ~~de color gris azuladas~~ intercaladas con areniscas y limos ~~negros~~.

Con formato: Fuente: 10 pto, Negrita



Foto 15. Afloramiento de calizas de color gris azulado musdtone en estratos tabulares de 50cm de espesor, ubicado en la localidad de Chaje.



Foto 16. Calizas fosilíferas musdtone gris azulado con presencia de venillas de calcita. Ubicadas en la localidad de Chaje.

Con formato: Justificado, Derecha: -0.12 cm

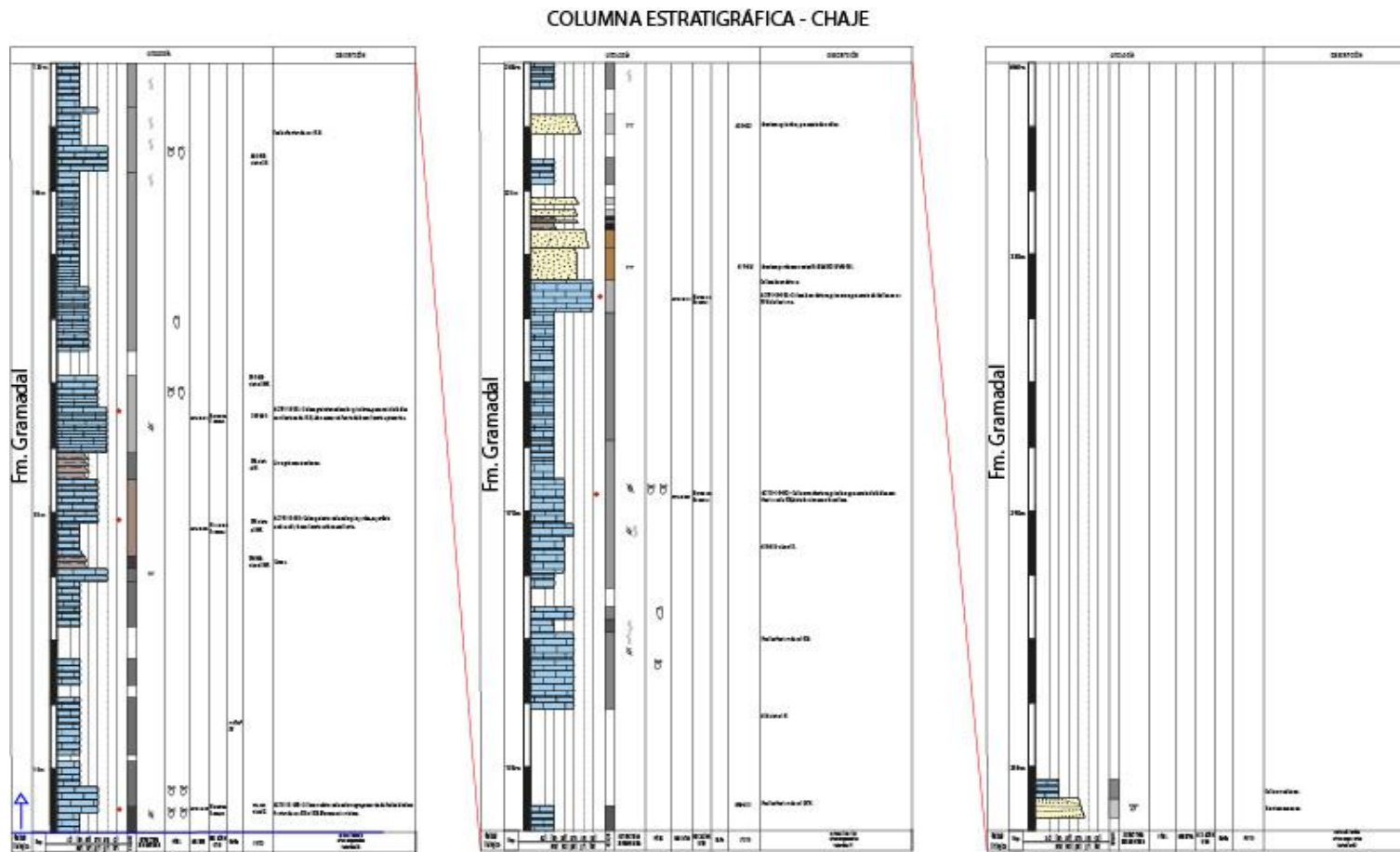


Figura 4.15. La columna estratigráfica se levantó en la localidad de Chaje, entre las coordenadas N: 8198194; E: 340695. Cuyo espesor es de 250 metros. Los puntos rojos corresponden a muestras.

Columna estratigráfica Mormontayoc (400m).- Sección estratigráfica de la unidad calcárea, medida en la localidad de Mormontayoc (Figura 4.16.), con coordenadas (N: 8201928; E: 338146), suprayace a la Fm. Labra, la secuencia empieza con la intercalación de calizas mudstone de color gris oscuro, con presencia de fósiles (bivalvos, gasterópodos), presenta niveles de limos de color pardas con nódulos calcáreos de diámetro 1- 3cm (Figura 4.17 a, b, c.); en la parte media se observa calizas con venillas de calcita con un delgado nivel de arenisca calcárea y en la parte superior calizas packstone fosilíferas de bivalvos mal conservados.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Times New Roman, Negrita

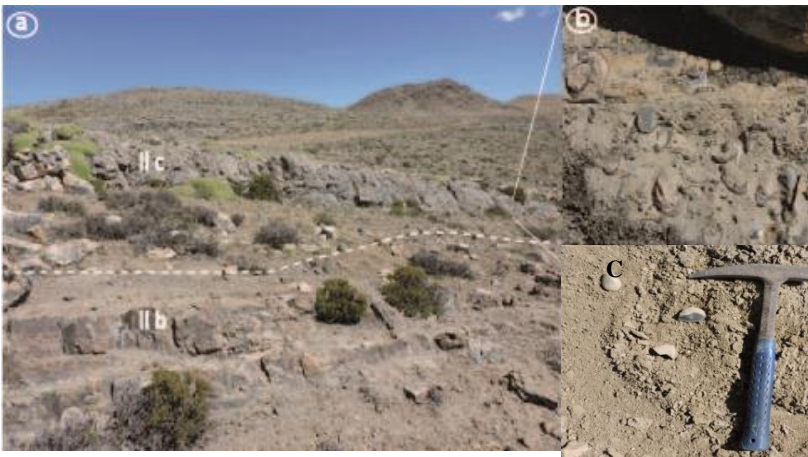


Figura 4.17. (a) Calizas de la Fm. Gramadal que suprayace a la unidad areno-lutácea (Fm. Labra), vista al oeste de la subcuenca de Ichuña. (b) Detalle de calizas mudstone de color gris oscuro en fractura fresca y gris rojizo en roca alterada, presenta ~~de~~ fósiles. (c) Limos de color pardo con presencia de nódulos calcáreos de color gris oscuro de diámetro 1-3cm.

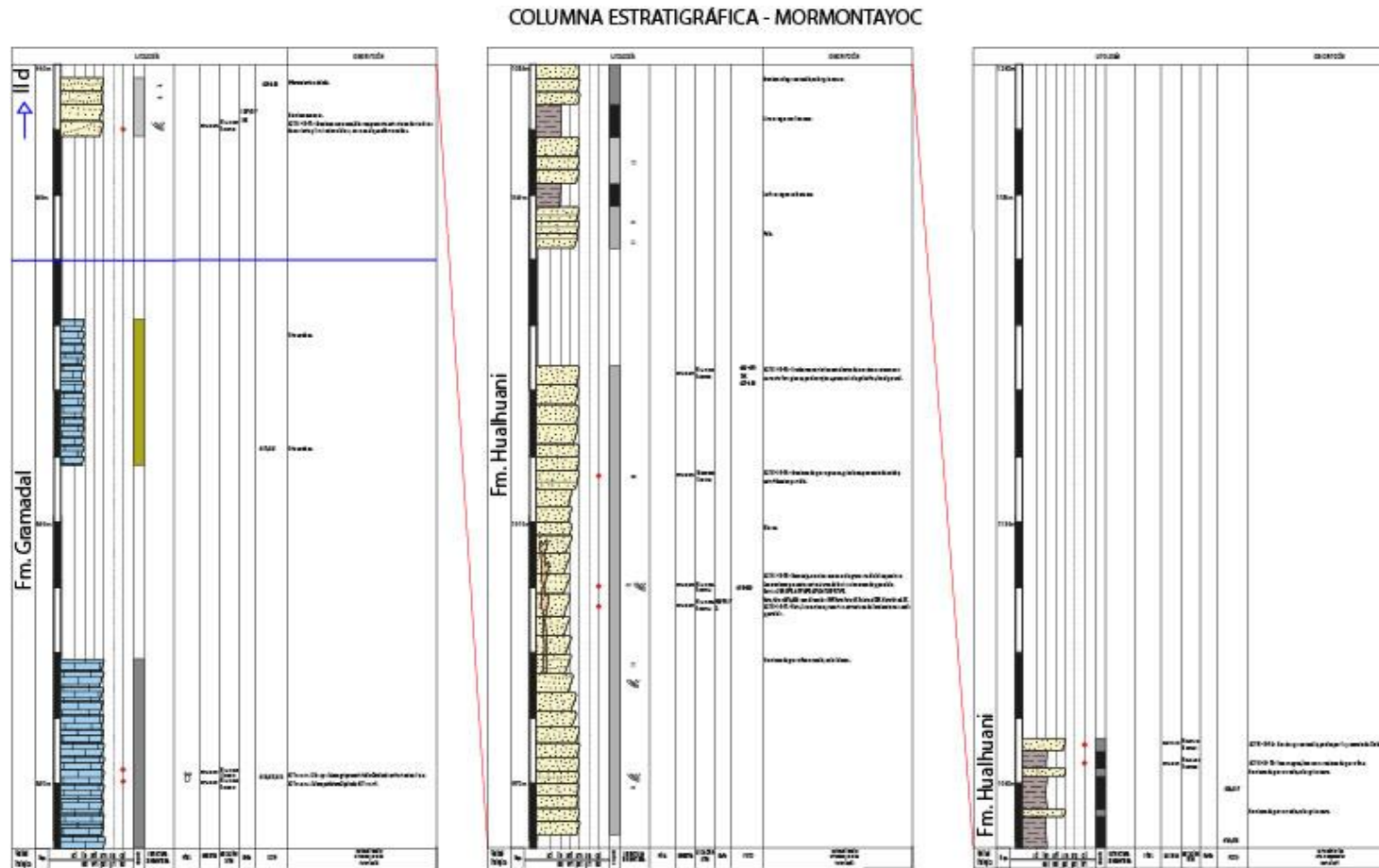


Figura 4.16. La columna estratigráfica se levantó en la localidad de Mormontayoc, entre las coordenadas N: 8201928; E: 338146. Cuyo espesor es de 400 metros. Los puntos rojos corresponden a muestras.

4.1.1.4. FORMACIÓN HUALHUANI – UNIDAD DE ARENISCAS CUARZOSAS.-

La unidad aflora al oeste y suroeste de la subcuenca de Ichuña, abarcando parte de la subcuenca de Yarihualla y Paltiture, entre las localidades de Ichuña, Antajahua, Santa Cruz de Oyo Oyo, Mormontayoc, Chaje, Pilliconi, en el Cerro Huancarani, cerca de la localidad de Pisacane y en la Quebrada Chacoverame, aflora a manera de franjas kilométricas, de dirección NO-SE, suprayaciendo concordantemente a la Formación Gramadal. Litológicamente está conformada por areniscas blancas cuarzosas de grano medio a grueso, con laminaciones sesgadas y oblicuas, esporádicamente presenta delgados niveles de lutitas negras. La unidad litológica corresponde estratigráficamente a la Formación Hualhuani. -Al norte del poblado de Ichuña, en la margen derecha del Río Tambo se observa un afloramiento de areniscas cuarzosas con laminación paralela y microconglomerados, presenta clastos de cuarzo de ½ cm de diámetro aproximadamente (Foto 17).



Foto 17. Detalle de las areniscas cuarzosas con laminación paralela y microconglomerados con clastos de cuarzo, ubicado en la margen derecha del Río Tambo, frente la localidad de Ichuña.

En la margen derecha del Río Tambo, cerca del Poblado La Pampilla, las areniscas de la Formación Hualhuani infrayacen a las capas continentales de la Formación Murco, del mismo modo sobreyacen a las calizas de la Formación Gramadal. (Figura 4.18).

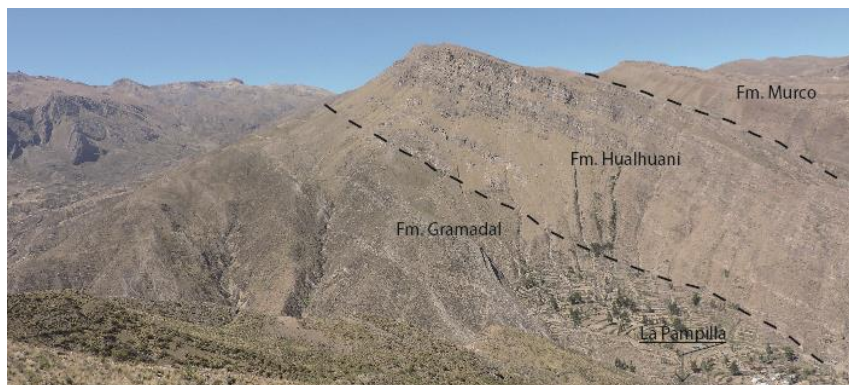


Figura 4.18. Panorámica al noroeste del contacto neto entre las areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani, las capas continentales de la Formación Murco y las calizas de la Formación Gramadal. Cerca al poblado la Pampilla.

A continuación se describe la unidad de areniscas cuarzosas en las columnas estratigráficas; Quebrada Pataqueña y los poblados de Chaje y Mormontayoc.

Columna estratigráfica Quebrada Pataqueña (240 m).- La columna estratigráfica está ubicada en la Quebrada Pataqueña, en la localidad de Pilliconi, coordenadas N: 8195024; E: 337948 (Figura 4.19). Consiste en una secuencia de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso con algunos niveles de limos de color gris y areniscas calcáreas de grano fino. Está conformada por estratos de 0.5-2 m. de espesor, en algunos estratos las areniscas se presentan con oquedades rellenas de materia orgánica y en otros se observan rellenas con óxidos de hierro (hematita), estas últimas presentan tonalidad gris-rojiza, en la parte superior se observa brechas tectónicas monolíticas con óxidos de hierro (hematita-gohetita) en fracturas (Figura. 4.20 A,B).

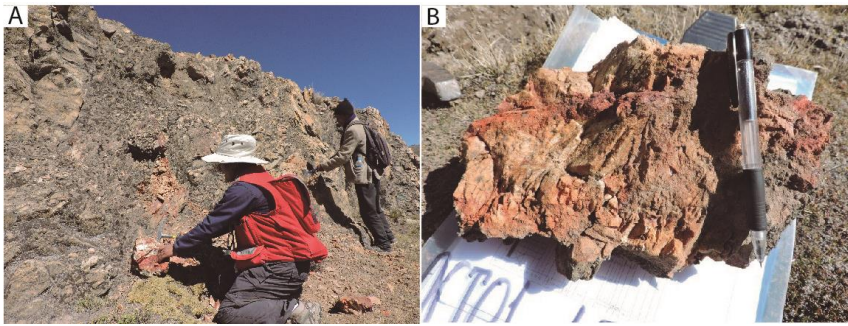


Figura 4.20. A. Afloramiento de brechas de falla en areniscas de la parte superior de la Formación Hualhuani. B. Muestra de brecha con presencia de óxidos de hierro (hematita - gohetita).

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - QUEBRADA PATAQUEÑA

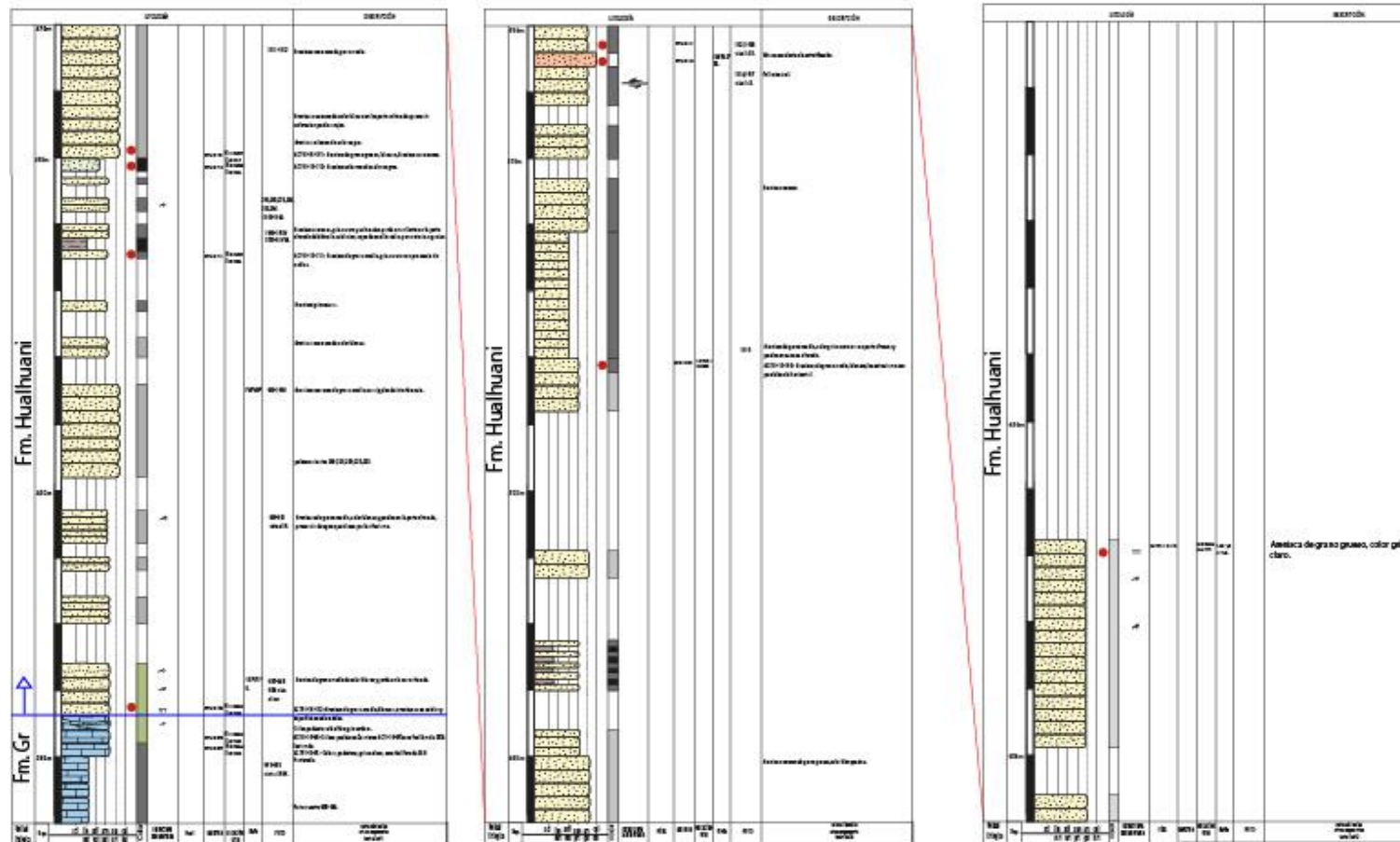


Figura 4.19. La columna estratigráfica se levantó en la Qda. Pataqueña, entre las coordenadas N: 8195024; E: 337948. Cuyo espesor es de 240 metros. Los puntos rojos corresponden a muestras.

Columna estratigráfica Chaje (307 m).- Sección estratigráfica de la unidad arenosa cuarzosa en la localidad de Chaje (Figura. 4.21), con coordenadas (N: 8197998; E: 339668). Esta unidad ~~Id.~~ clástica arenosa cuarcítica ~~suprayace-sobrevace~~ a la Fm Gramadal (~~calcárea~~), está conformada por estratos gruesos de arenisca cuarzosa de grano medio a grueso de color blanquecino en muestra fresca y gris rojiza en muestra alterada, con presencia de laminaciones cruzadas y paralelas, rizaduras de corriente de bajo ángulo (Figura 4.22).

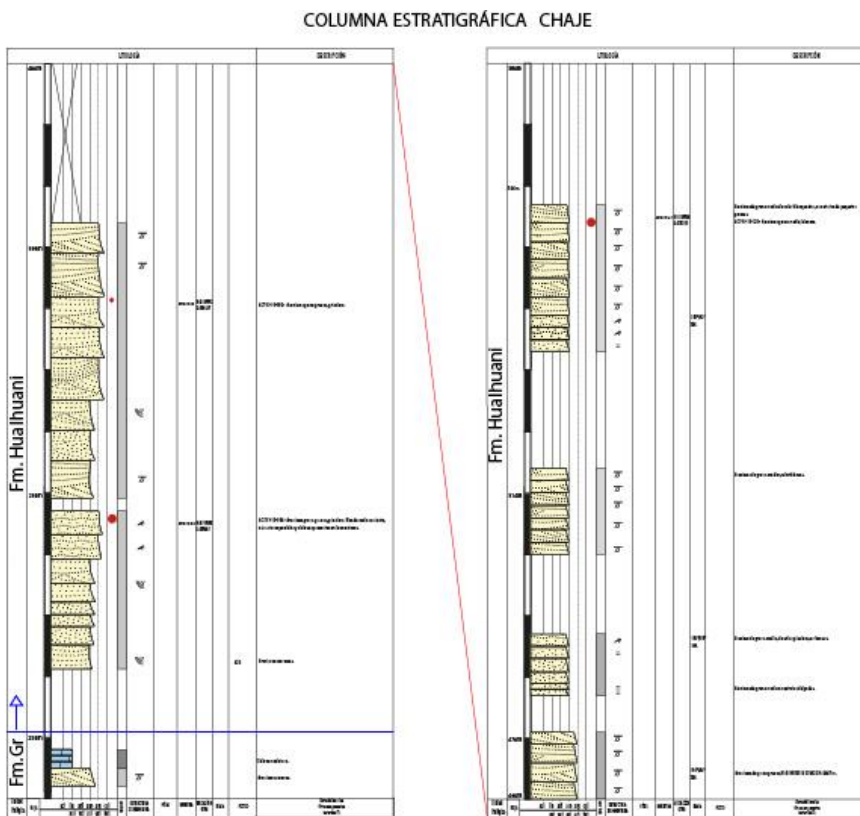


Figura 4.21. La columna estratigráfica se levantó en la localidad de Chaje, entre las coordenadas N: 8197998; E: 339668. Cuyo espesor es de 307 metros. Los puntos rojos corresponden a muestras.

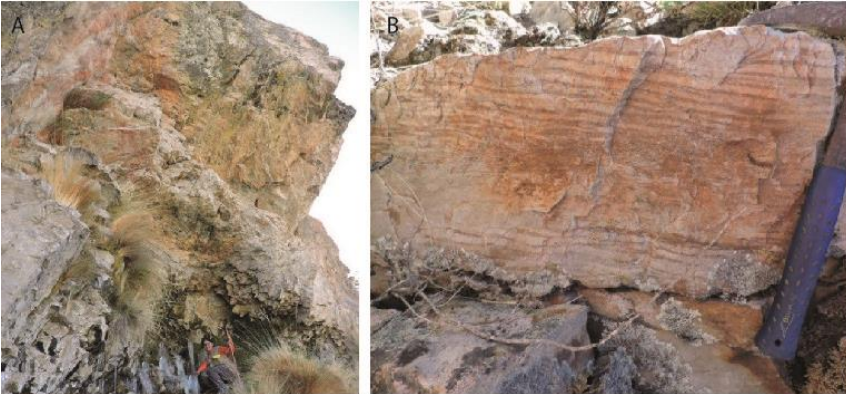


Figura 4.22. A. Afloramiento de estratos potentes de areniscas cuarzosas de la Fm. Hualhuani. B. Detalle de la arenisca cuarzosa con laminación paralela y con rizarduras de corriente de bajo ángulo.

Columna estratigráfica Mormontayoc (150 m).- Sección estratigráfica de la unidad cuarzosa, corresponde a la Formación Hualhuani, se registró en la localidad de Mormontayoc (Figura. 4.23) con coordenadas N: 8201407; E: 337785. Esta unidad, que suprasobreyace a la Formación Gramadal, está constituida por areniscas cuarzosas de grano medio de color gris blanquecina en fractura fresca y gris rojiza cuando se encuentra alterada (Foto 19), presenta estructuras de laminación cruzada; en la parte media está formada por areniscas de grano fino de color blanquecina cortado por veta de cuarzo lechoso (Figura 4.24), presenta también pátinas de óxidos de hierro en fracturas y un nivel de brechas monolíticas de clastos de areniscas cuarzosas con matriz ferruginosa (goethita) (Figura 4.25 A, B), la parte superior de la unidad litológica constituida por intercalaciones de areniscas de grano medio con lutitas negras.



Foto 19. Afloramiento de areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani, en estratos de 1m de espesor. Vista tomada al Suroeste de la localidad de Mormontayoc.

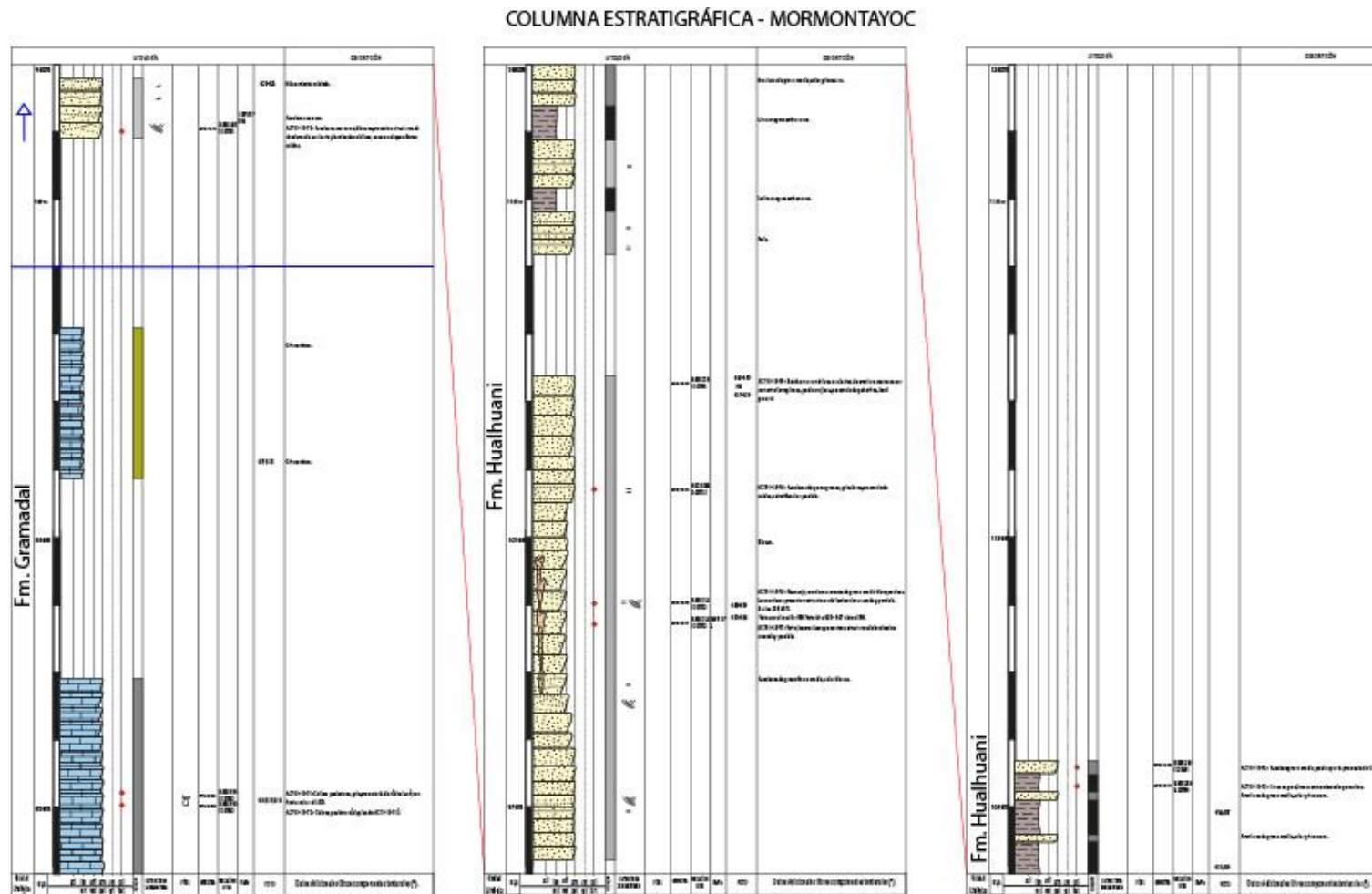


Figura 4.23. La columna estratigráfica se levantó en la localidad de Mormontayoc, entre las coordenadas N 8201407; E: 337785. Cuyo espesor es de 150 metros. Los puntos rojos corresponden a muestras.

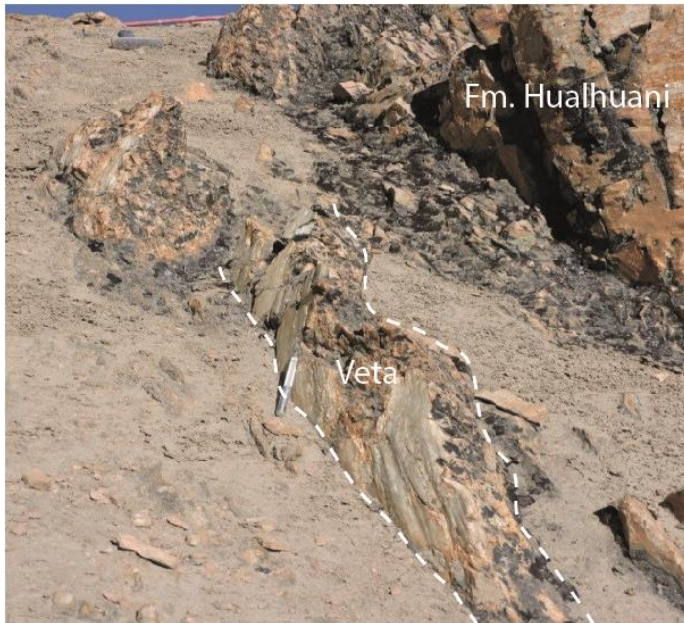


Figura 4.24. Areniscas de grano fino cortado por una Veta de cuarzo lechoso en cercanías de la localidad de que corta a la unidad Hd, Vista al oeste de la

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm, Interlineado: Múltiple 1.15 lín.



4.2. ANÁLISIS LITOGEOQUÍMICO

El estudio tiene la finalidad de caracterizar y definir patrones geoquímicos que a su vez sirvan como herramienta en el cartografiado y diferenciación de unidades litológicas. Se plantea determinar los valores promedio en elementos traza para cada Formación Geológica y observar el comportamiento de los elementos mayores y metales pesados en las diferentes rocas sedimentarias del Grupo Yura y su relación con la geología en la zona de estudio.

El análisis litogeoquímico se realizó en base a 58 muestras, de las cuales 38 son areniscas, 13 lodolitas y 7 calizas, las cuales fueron obtenidas durante los trabajos de campo. El análisis geoquímico fue realizado en los laboratorios de SGS del Perú S.A.C, mediante fusión de peróxido de sodio ICP-AES/ICP-MS y metaborato de litio ICP-AES, y en el laboratorio de química analítica del INGEMMET, mediante el método de fusión de metaborato de litio ICP-AES/MS. El estudio mineragráfico se realizó mediante el uso del Difractómetro de RAYOS X-XRD6000 por el método de polvo/RIR, con un rango de barrido entre 2°-70° y una velocidad de barrido de 2° por minuto.

4.2.1. VALIDACIÓN DE DATOS GEOQUÍMICOS

El aseguramiento y control de calidad de la data es un aspecto muy importante, toda vez que involucra el debido cuidado a tenerse en cuenta en las diversas etapas del estudio, desde el diseño de muestreo hasta la presentación de resultados. Es necesario mencionar que un control de calidad bien ejecutado permitirá evitar que se produzcan errores e ineficiencias, identificando y eliminando sus causas, evidenciar objetivamente que se ha cumplido con los estándares de calidad y finalmente brindar confiabilidad a los usuarios de la información final.

En el presente informe solo se evalúa la precisión, este parámetro de calidad involucra la utilización de muestras duplicadas. Cada muestra duplicada nos dará información sobre el grado de repetitividad de los resultados analíticos, así como la buena aplicación de los protocolos de muestreo del geólogo en el campo a nivel de cada lote de muestras analizadas.

La cantidad de muestras de control (duplicados) corresponden a nueve, los que representan como mínimo el 3% del total de las muestras (*Darnley et al., 1995*). Como referencia debemos mencionar que el universo estadístico está representado por 58 muestras de roca, de manera que ha quedado cubierto el control de calidad diseñado para el estudio. Las muestras fueron clasificadas de acuerdo a su naturaleza y enviadas al laboratorio en cuatro grupos: silicatos, carbonatos y materia orgánica.

La evaluación de la precisión se realiza mediante la variación porcentual, la cual indica el porcentaje de variación entre los resultados de la muestra original y el duplicado. El cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$[(\text{Duplicado} - \text{Muestra original}) / \text{Duplicado}] \times 100$$

La variabilidad de resultados es mayor cuando los resultados encontrados están cerca del límite de detección del método, también se incrementa cuando se compara muestras preparadas a partir de diferentes técnicas de muestreo y de diferente cuarteo. En este trabajo se ha considerado un rango de aceptabilidad entre -25% y 25%, sin embargo, existen valores que exceden dichos rangos (Tablas 4.1 y 4.2), en estos casos el rango de aceptabilidad fue ampliado según los niveles de resultados en relación a los límites de detección.

Tabla 4.1: Variación porcentual entre las muestras originales y duplicados. Existen elementos con valores menores al límite de detección (<LD). Los porcentajes marcados en rojo exceden los rangos de aceptabilidad.

Elemento	Límite de Detección	ACT01-15-063	ACT01-15-064	%	ACT01-15-09	ACT01-15-304	%	Act01-15-233	Act01-15-302	%	Act01-15-170	Act01-15-298	%
Sc	5	<LD	<LD	#VALOR!	7.8	7.5	-4.00	7.8	7.6	-2.63	7.9	6.5	-21.54
V	5	19	18	-5.56	70	67	-4.48	106	107	0.93	48	42	-14.29
Cr	10	62	76	18.42	31	15	-106.67	14	10	-40.00	11	0	#DIV/0!
Mn	10	92	88	-4.55	1108	1192	7.05	3019	2666	-13.24	1155	799	-44.56
Co	0.5	3.3	3	-10.00	7.8	8.3	6.02	13.3	13.7	2.92	6.5	6.7	2.99
Ni	5	14	11	-27.27	<LD	<LD	#VALOR!	8	7	-14.29	6	<LD	#VALOR!
As	30	<LD	<LD	#VALOR!	<LD	<LD	#VALOR!	<LD	<LD	#VALOR!	<LD	<LD	#VALOR!
Rb	0.2	28.2	27.2	-3.68	103.6	105.3	1.61	116.9	117.7	0.68	174.4	174.4	0.00
Sr	0.1	41.8	37.3	-12.06	474.6	486.1	2.37	579.1	585.6	1.11	86.1	73.4	-17.30
Y	0.5	9.6	9	-6.67	22.3	21.6	-3.24	21.8	22.1	1.36	33.9	23.3	-45.49
Zr	0.5	121	120.7	-0.25	160.5	185.5	13.48	136.6	134.2	-1.79	190.1	172.9	-9.95
Nb	1	10	10	0.00	19	19	0.00	24	24	0.00	19	13	-46.15
Sb	0.5	<LD	<LD	#VALOR!	<LD	0.7	#VALOR!	<LD	0.5	#VALOR!	<LD	1.4	#VALOR!
Cs	0.1	1.3	1.2	-8.33	1.8	1.7	-5.88	2.2	2.2	0.00	1.9	2	5.00
Ba	0.5	96	84	-14.29	1043	1006	-3.68	864	835	-3.47	774	758	-2.11
La	0.1	7.5	6.7	-11.94	37.4	36.9	-1.36	37	34.1	-8.50	40.4	31.6	-27.85
Ce	0.1	17.9	17.8	-0.56	72.6	74.8	2.94	67.9	67.8	-0.15	64.5	60.3	-6.97
Nd	0.1	7.3	7.5	2.67	30.1	30	-0.33	27.6	27.6	0.00	30.5	26.8	-13.81
Sm	0.1	1.8	1.4	-28.57	5.6	6	6.67	5.4	5.1	-5.88	6	5.3	-13.21
Eu	0.05	0.49	0.45	-8.89	2.11	2.33	9.44	1.91	1.92	0.52	1.92	1.88	-0.13
Tb	0.05	0.17	0.17	0.00	0.54	0.55	1.82	0.52	0.48	-8.33	0.74	0.55	-34.55
Yb	0.1	0.5	0.4	-25.00	1.2	1.2	0.00	1.4	1.3	-7.69	2.2	1.4	-57.14
Lu	0.05	0.08	0.06	-33.33	0.17	0.17	0.00	0.23	0.2	-15.00	0.35	0.22	-59.09
Hf	1	<LD	<LD	#VALOR!	3	3	0.00	4	4	0.00	2	2	0.00
Ta	0.5	1.3	0.8	-62.50	0.7	0.5	-40.00	1.1	1.2	8.33	0.8	0.9	11.11
W	1	<LD	<LD	#VALOR!	<LD	<LD	#VALOR!	<LD	<LD	#VALOR!	<LD	<LD	#VALOR!
Pb	5	<LD	<LD	#VALOR!	32	42	23.81	23	21	-9.52	17	18	5.56
Th	0.1	2.7	2.2	-22.73	9.4	9.1	-3.30	14.9	14.3	-4.20	13.7	11.8	-16.10
U	0.05	0.6	0.5	-20.00	1.1	1.1	0.00	3.4	3.2	-6.25	1.9	1.6	-18.75

Tabla 4.2: Variación porcentual entre las muestras originales y duplicados. Existen elementos con valores menores al límite de detección (<LD). Los porcentajes marcados en rojo exceden los rangos de aceptabilidad.

Elemento	Límite de Detección	Act01-15-248	Act01-15-303	%	Act01-15-189	Act01-15-300	%	Act01-15-269	Act01-15-301	%	Act01-15-272	Act01-15-299	%	ACT01-15-71	ACT01-15-72	%
Sc	5	27	23.6	-14.41	25.1	25.5	1.57				<LD	<LD		<LD	<LD	#VALORI
V	5	240	217	-10.60	202	204	0.98	19	17	-11.76	15	15	0.00	8	9	11.11
Cr	10	95	65	-46.15	115	115	0.00	10	0		11	13	15.38	0	0	#DIV/OI
Mn	10	778	779	0.13	1006	1025	1.85	33	36	8.33	91	83	-9.64	359	353	-1.70
Co	0.5	26.6	27.8	4.32	28.1	32.9	14.59	0.7	0.8	12.50	1.7	1.6	-9.25	2.3	2.4	4.17
Ni	5	20	19	-5.26	40	44	9.09	<LD	<LD	#VALORI	<LD	<LD	#VALORI	12	12	0.00
As	30	<LD	<LD	#VALORI	<LD	<LD	#VALORI	<LD	<LD	#VALORI	<LD	<LD	#VALORI	<LD	<LD	#VALORI
Rb	0.2	94.9	105.3	9.88	69.1	75.7	8.72	139.5	142	1.76	133.4	138.5	3.68	7.2	7.3	1.37
Sr	0.1	485.4	534.9	9.25	481.3	538.5	10.62	57.7	60.5	4.63	165.8	177.8	6.75	288.3	276	-4.46
Y	0.5	23.4	25	6.40	22.8	24.2	5.79	14.4	14.2	-1.41	20.5	21.4	4.21	9.3	9.4	1.06
Zr	0.5	78	75.1	-3.86	115.8	106.7	-8.53	126.8	123.3	-2.84	123	111.5	-10.31	19	18.6	-2.15
Nb	1	24	23	-4.35	23	24	4.17	15	14	-7.14	19	18	-5.56	9	9	0.00
Sb	0.5	<LD	0.6	#VALORI	<LD	<LD	#VALORI	<LD	0.9	#VALORI	0.8	0.9	11.11	<LD	<LD	#VALORI
Cs	0.1	24.2	39.4	38.58	5.5	5.2	-5.77	12.1	12.7	4.72	9.9	10.4	4.81	0.7	0.6	-16.67
Ba	0.5	748	738	-1.36	647	668	3.14	504	500	-0.80	658	691	4.78	29	27	-7.41
La	0.1	16.7	15.9	-5.03	17.4	17.8	2.25	24.6	20.7	-18.84	26.4	23.7	-11.39	4.4	4.6	4.35
Ce	0.1	30.8	35	12.00	32.8	38.9	15.68	40.1	39.8	-0.75	43.6	46.2	5.63	8.4	8.8	4.55
Nd	0.1	16.1	17.2	6.40	17.5	18.5	5.41	15.5	14	-10.71	16.6	15.2	-10.53	4.4	4.7	6.38
Sm	0.1	3.9	3.9	0.00	3.9	4.3	9.30	3.1	2.8	-10.71	3.1	3	-3.33	0.9	1.1	18.18
Eu	0.05	1.62	1.72	5.81	1.46	1.71	14.62	1.01	1.02	0.98	1.16	1.2	3.33	0.26	0.28	7.14
Tb	0.05	0.5	0.51	1.96	0.47	0.51	7.84	0.31	0.3	-3.33	0.35	0.37	5.41	0.11	0.12	8.33
Yb	0.1	1.8	1.8	0.00	1.7	1.8	5.56	1.1	0.9	-22.22	1.6	1.6	0.00	0.3	0.3	0.00
Lu	0.05	0.29	0.28	-3.57	0.27	0.27	0.00	0.16	0.14	-14.29	0.26	0.24	-8.33	<LD	<LD	#VALORI
Hf	1	3	4	25.00	4	5	20.00	2	2	0.00	3	3	0.00	<LD	<LD	#VALORI
Ta	0.5	<LD	<LD	#VALORI	<LD	0.7	#VALORI	<LD	0.5	#VALORI	1.3	1.8	27.78	2	0.6	-233.33
W	1	<LD	<LD	#VALORI	<LD	<LD	#VALORI	<LD	<LD	#VALORI	1	1	0.00	<LD	<LD	#VALORI
Pb	5	14	14	0.00	10	13	23.08	18	20	10.00	10	12	16.67	5	10	50.00
Th	0.1	3.7	3.5	-5.71	3.8	4.1	7.32	11.2	10.6	-5.66	15.7	16.1	2.48	0.8	0.7	-14.29
U	0.05	0.8	0.8	0.00	0.7	0.8	12.50	3.7	3.1	-19.35	2.7	3	10.00	0.2	0.2	0.00

4.2.2. CARACTERIZACIÓN LITOGEOQUÍMICA

La distribución de los elementos químicos en la tierra depende de la abundancia en cada una de las capas que componen la Tierra, y de la naturaleza y composición de las rocas presentes en una determinada área.

El Núcleo, el Manto y la Corteza Terrestre presentan una composición geoquímica, mineralógica y petrológica singular; en el Núcleo la composición es simple y homogénea, e intermedia en el Manto, mientras que, la Corteza presenta una composición más compleja y heterogénea. La ocurrencia de procesos geológicos (ígneos, metamórficos y sedimentarios) a nivel cortical produce fenómenos muy variados de enriquecimiento o empobrecimiento de carácter local y regional, que afectan a la concentración de los elementos químicos. Es decir, que los diferentes tipos de rocas tienen una composición mineralógica específica, donde cada mineral tiene una composición química fija y una estructura cristalina definida, por ende la distribución espacial de las rocas rigen la concentración de los elementos químicos en una determinada zona.

Según la definición original de GOLDSCHMIDT (*Rose et al., 1979*) la geoquímica tiene dos objetivos: a) la determinación de la abundancia relativa y absoluta de los elementos de la tierra y b) el estudio de la distribución y de la migración de elementos individuales en varias partes de la tierra con el objetivo de descubrir los principios, que controlan la distribución y la migración de los elementos.

Los procesos geoquímicos de dispersión primaria llevan a cabo la diferenciación de un magma, la formación de una roca sedimentaria o metamórfica, así como la alteración hidrotermal que implican en ocasiones transformaciones profundas químico-mineralógicas (*Beus y Grigorian, 1977*). Durante estos procesos algunos elementos o minerales pueden concentrarse

selectivamente, muy por encima de sus valores "normales" para un tipo determinado de roca, dando origen a concentraciones "anómalas", a lo que se denominan anomalías geoquímicas, que pueden representar yacimientos minerales o fuentes de contaminación natural.

El término 'fondo' se refiere a la abundancia normal de un elemento en los materiales terrestres no mineralizados (Tabla 4.3). Considerando los diferentes tipos de rocas, la abundancia normal de un elemento en un tipo específico de roca muy probablemente difiere de su abundancia en otro tipo de roca. Una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico. Generalmente las anomalías exceden los valores del fondo.

Los elementos químicos de acuerdo a su abundancia en la tierra se clasifican en elementos mayores, elementos menores y elementos traza. Asimismo, en base a su comportamiento geoquímico se clasifican en: siderófilos (compatible con el hierro), calcófilos (formador de sulfuros), litófilos (formador de silicatos) y atmófilos (formador de sustancias gaseosas).

Los elementos mayores constituyen el 99% del total de la corteza y son los que forman la mayoría de las rocas y minerales, es decir son constituyentes estructurales esenciales de los minerales. En general, se reportan 11 elementos mayores/menores en análisis de rocas (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO y P_2O_5). Por otro lado, un elemento traza está presente en una roca en concentraciones menores al 0.1% (<1000 ppm). La mayoría de los elementos traza no forman especies minerales por sí solos, pero son capaces de sustituir a los elementos mayores en los minerales formadores de roca.

Aproximadamente 90 de los elementos químicos conocidos se presentan en rocas y minerales en niveles traza. Los elementos traza son de particular interés geoquímico, el grupo más usado son las tierras raras (REE), otros grupos son los metales nobles (PGE) y los metales de transición. Los elementos en cada uno de estos grupos tienen propiedades químicas similares, y por ende se espera que tengan un comportamiento geoquímico similar. Los metales traza potencialmente más peligrosos para la biosfera pueden ser: Ag, Au, Cd, Hg, Pb, Sb, Sn, Te, W, pero también los elementos que son esenciales para las plantas y los seres humanos, Mn y Zn, pueden liberarse, en algunas regiones, en cantidades excesivas (*Bowen, 1979*).

El término Litogeoquímica, geoquímica de rocas o petroquímica, es utilizada para estudiar la evolución de las rocas con base a las relaciones relativas entre elementos químicos a partir de relaciones de contenidos de elementos graficados como los triángulos AFM, SPIDER, y muchos otros que permiten conocer la evolución mineralógica del planeta, sus procesos y mezclas de componentes mánticos o litosféricos.

En este sentido se realizó el análisis litogeoquímico para las formaciones Cachios, Labra, Gramadal y Hualhuani, donde las muestras corresponden a areniscas, lutitas, calizas y areniscas cuarzosas (Fig. 4.1). La data de los análisis químicos se encuentran en el anexo 3, donde podemos observar que existen varias muestras con elementos traza debajo de límite de detección (<LD).

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA TIPO DEL GRUPO YURA - MOQUEGUA

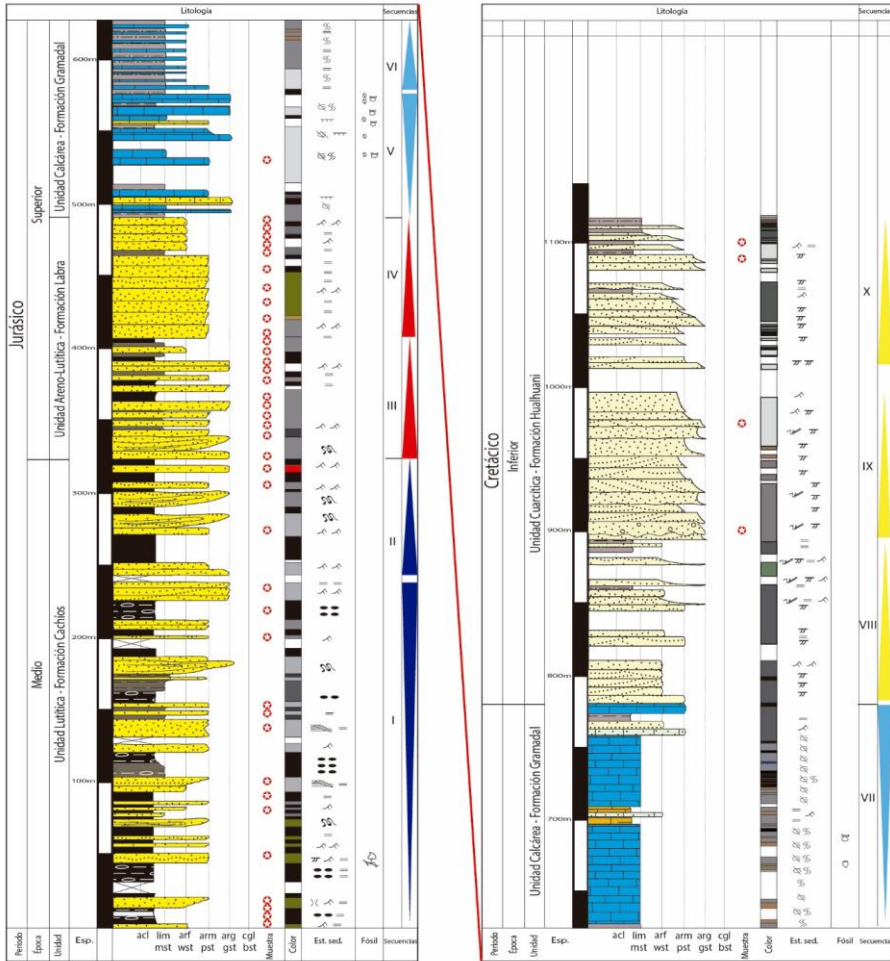


Figura 4.1: Muestras colectadas para análisis geoquímicos registradas a lo largo de la columna tipo ubicada en la zona de la parte alta de la Cuenca del Río Tambo.

Tabla 4.3: Abundancia de los elementos químicos en rocas de la corteza terrestre (Kabata-Pendias, 2007).

	Corteza Terrestre (mg/kg)	Rocas Igneas (mg/kg)		Rocas Sedimentarias (mg/kg)		
		Máficas	Ácidas	Lutitas	Areniscas	Caláreas
Li	20-25	0.5-10	15-40	50-75	10-40	2-20
Rb	90-110	2-45	100-200	120-200	10-45	5-30
Cs	<1-6	0.05-1.5	2-5	5-10	0.5-2	0.5-2
Be	4-6	0.3-1.0	2-6.5	2-6	0.2-1.0	0.2-2.0
Sr	260-370	140-460	60-400	300-450	20-140	460-600
Ba	250-584	250-400	400-1200	500-800	100-320	50-200
Sc	16-30	5-35	3-15	10-15	1-3	0.5-5
Y	20-33	0.5-20	20-33	25-40	15-250	4-30
La	16-39	2-70	30-150	30-90	17-40	4-10
Ce	33-67	4-60	80-250	3-90	25-80	7-20
Pr	3.9-9.2	1-15	6-30	6-10	4-9	1-2.5
Nd	16-42	2-30	18-80	18-35	16-48	5-9
Sm	3.5-7.1	0.1-1.7	6-11	5-7	4-10	1-2
Eu	1.1-2	0.01-4	1-2	1-2	0.7-2	0.2-0.4
Gd	3.3-6.2	0.1-8	4-10	5-7.5	3-10	1.3-2.7
Tb	0.6-1.2	0.1-1.2	1-2.5	0.9-1.1	1.6-2	0.2-0.4
Dy	3.7-5.2	0.05-7	5-8	4-6	2.6-7.2	0.8-2
Ho	0.8-1.3	0.1-1.5	1.3-2	1-1.8	0.05-2	0.2-0.3
Er	2.1-3.5	0.1-1	0.7-3.4	2.5-4	1.5-6	0.4-1.7
Tm	0.3-0.5	0.1-0.6	0.3-0.7	0.2-0.6	0.3	0.03-0.2
Yb	2.0-3.2	0.1-3.5	3-4.5	2.2-4	1.2-4.4	0.3-1.6
Lu	0.3-0.8	0.1-0.6	0.5-1.2	0.2-0.7	0.8-1.2	0.03-0.2
Th	3.6-9.6	1-14.0	10-23	10-12	2-4	2-3
U	0.9-1.7	0.3-3.0	2.5-6	3-4	0.5-0.6	2.2-2.5
Ti (en %)	0.4-0.57	0.3-2.4	0.3-3.4	0.6-2.7	0.15-3.6	0.4-4
Zr	100-200	80-200	140-240	160-200	180-250	20
Hf	3-4.9	1-4.8	4.5-5	2.8-6	3-6	0.3-0.4
V	53-60	40-250	40-90	80-130	10-60	10-45
Nb	26	10-35	15-60	15-20	0.5-10	0.05-0.1
Ta	1.5-2.2	0.5-2	2-4	0.8-1.7	0.5-1.5	0.01-0.05
Cr	126-185	170-3400	10-50	80-120	20-40	5-16
Mo	1.1	0.2-1.5	1-2	2-2.5	0.2-0.8	0.2-0.4
W	1	0.3-1.1	1.3-2.4	1.8-2	0.3-2	0.3-0.6
Mn	716-1400	850-2000	350-1200	400-850	100-500	200-1000
Re (ug/Kg)	0.4	0.4	0.6	0.5	0.1	0.1
Fe	5.0	3.7-8.7	1.4-2.7	3.3-4.7	1.0-3.0	0.4-1.0
Co	10-12	35-200	1-15	14-20	0-10	0.1-3
Ni	20	130-160	5-20	40-90	5-20	5-20
Cu	25-27	10-120	5-30	40-60	5-30	2-10
Ag	0.07-0.08	0.07-0.1	0.05-0.07	0.07-0.1	0.05-0.25	0.1-0.15
Au (ug/kg)	3-4	0.5-5	1.2-1.8	2.5-4	3-7	2-6
Zn	52-80	40-120	40-100	80-120	15-30	10-25
Cd	0.1-0.2	0.03-0.22	0.05-0.2	0.2-0.3	<0.04-0.05	0.04-0.1
Hg	0.02-0.09	0.004-0.01	0.03-0.08	0.2-0.4	0.01-0.05	0.02-0.05
B	10	5-20	10-30	120-130	30-35	20-30
Al	8.2 (en %)	7.3-8.8	6-8.3	7-10(en %)	2.5-4.3	0.4-1.3
Ga	15-19	15-24	16-20	15-25	5-12	1-3
In	0.25	0.02-0.22	0.04-0.2	0.05-0.07	0.02	0.03
Tl	0.85-1	0.1-1.4	0.6-1.8	0.5-2	0.4-1	0.01-1.5
Si (en %)	26-29	20-30	31-34	25-28	30-40	5-30
Ge	1.4-1.6	0.7-1.5	1.0-1.5	1-2.5	0.8-1.4	0.1-0.3
Sn	2.3-2.5	0.3-1.5	0.3-3.6	6-10	0.5	0.3-0.5
Pb	15	0.1-8.0	10-25	14-40	5-10	3-10
As	0.5-2.5	0.5-2.5	1-2.5	5-13	0.5-12	1-2.5
Sb	0.1-0.9	0.1-1	0.2-2	0.8-4	0.05	0.15-0.3
Bi	0.06-0.13	0.001-0.15	0.01-0.12	0.05-0.5	0.1-0.2	0.1-0.2
Se	0.05-0.5	0.01-0.12	0.01-0.05	0.3-0.6	0.01-0.08	0.03-0.10
F	525-650	300-1200	300-850	500-800	50-270	50-350
Cl	145-640	40-300	130-300	100-200	10-20	50-350
Br	1-2.4	0.2-3.0	0.2-4.5	5-10	1-5	<1-6
I	0.15-1.4	0.007-0.5	0.01-0.5	1-38	0.02-1.5	0.5-3.0

4.2.2.1. Formación Cachios (Lutitas negras, limos negros carbonosos y areniscas)

Se le observa entre las localidades de Yunga, Chaje y Quebrada Patillada. Las muestras que se analizaron corresponden a 11 muestras de areniscas y 6 de lutitas. La clasificación geoquímica de areniscas se realizó en base a las razones de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, la primera relación refleja la abundancia de cuarzo, arcillas y feldspatos y la segunda representa el índice de estabilidad mineral. Es así que, las areniscas caen en el campo de areniscas ferruginosas, y las lutitas caen en el campo de lodolitas (Fig. 4.2A).

En el diagrama multielemental (Fig. 4.2B) en relación a los elementos mayores se observa altos contenidos en Na (5400-14330 ppm), Mg (3860-14750 ppm), K (2250-30050 ppm) y Fe (12450-52950 ppm), bajos contenidos de Mn (156-630 ppm) y contenidos de Ca muy variables (790-17740 ppm). En tanto que, el Cr oscila entre 38-80 ppm, el Cu, entre 14-40 ppm, el Zn entre 21-233 ppm, el Rb entre 12-250 ppm, el contenido de Cd es 0.2 ppm y el Sn varía entre 1-3 ppm.

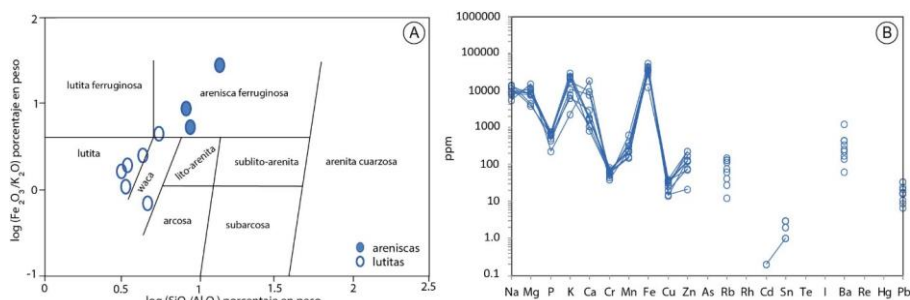


Figura 4.2: A. Clasificación química de areniscas (después de Herron, 1988). B. Diagrama multielemental normalizada a la corteza superior (según Taylor and McLennan, 1985, *1981).

Asimismo, se ha realizado el análisis mineralógico de seis muestras mediante Difracción de Rayos X (Tabla 4.4) y cuyos difractogramas se encuentran en el anexo 2. Se puede observar que las lutitas presentan alto contenido de sílice, probablemente debido al contenido de nódulos de chert. También, se observan la presencia de pirita, arsenopirita y pirrotita.

Tabla 4.4: Resultados del análisis mineralógico por difracción de Rayos X, para las lutitas de la Formación Cachios. Los porcentajes marcados en rojo corresponden a minerales con presencia de Mg y Fe.

Muestra	ACT01-15-099	ACT01-15-106	ACT01-15-107	ACT01-15-108	ACT01-15-114	ACT01-15-115
Litología	Lutitas negras	Lutitas negras a rojizas con nódulos	Limos negros	Lutitas negras a rojizas	Limos con nódulos violáceos	Limos negros con nódulos
Cuarzo	76.14%	85.34%	83.39%	88.88%	80.64%	82.83%
Clorita	10.29%	4.6%	5.73%	4.3%	1.13%	
Albita	4.37%	3.6%	4.44%	1.87%	14.57%	9.17%
Dolomita	3.92%					
Muscovita	2.37%	1.99%	3.63%	3.19%	2.54%	4.68%
Anatasa						2.54%
Hidroxilapatita	1.46%					

Yeso		1.86%	2.81%		
Pirita		1.24%			
Natrojarosita		1.12%			
Wollastonita				0.77%	
Pirrotita				0.55%	
Arsenopirita	0.73%	0.25%		0.44%	
Augita	0.46%				0.75%
Enstatita	0.26%				0.78%
Siderita				0.37%	

4.2.2.2. Formación Labra (Areniscas y lutitas)

Las muestras que se analizaron corresponden a 14 muestras de areniscas y 8 de lutitas. En el diagrama de clasificación geoquímica las areniscas (Fig. 4.3A) caen en el campo de lito-arenitas y sublito-arenitas, y las muestras que caen en el campo de arenisca ferruginosa se encuentran afectadas por venillas de óxidos. Las lutitas caen en el campo de lodolitas.

En el diagrama multielemental (Fig. 4.3B) se observa mayores contenidos de K (2750- 71250 ppm), Ca (613- 17200 ppm) y Fe (2800- 232400 ppm) en relación al Mg (470- 9206), P (177- 3010 ppm) y Mn (77-4350 ppm), mientras que el Na es muy variable (290- 94150 ppm). El Cr varía de 12-106 ppm, el Cu, de 3-107 ppm, el Zn oscila entre 5-176 ppm, el Rb, entre 9-226 ppm, As entre 12-95 ppm, el Pb entre 5-151 ppm, mientras que el Cd tienen un valor único de 0.8 ppm y el Sn varía entre 1-4 ppm.

También, se ha realizado el análisis mineralógico de una muestra mediante Difracción de Rayos X (Tabla 4.5) y cuyo difractograma se encuentran en el anexo 2. Se puede observar que las lutitas presentan alto contenido de sílice, probablemente debido al contenido de nódulos de chert. También se observan la presencia de pirita y arsenopirita.

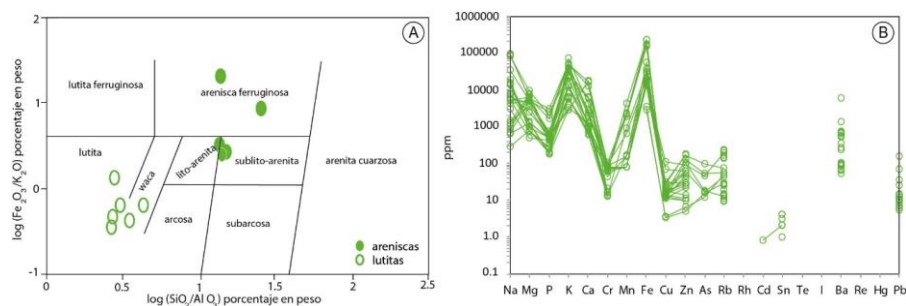


Figura 4.3: A. Clasificación química de areniscas (después de *Herron, 1988*). B. Diagrama multielemental normalizada a la corteza superior (según *Taylor and McLennan, 1985, *1981*).

Tabla 4.5: Resultados del análisis mineralógico por difracción de Rayos X, para las lutitas de las formaciones Labra y Gramadal. Los porcentajes marcados en rojo corresponden a minerales en cuya composición presentan Mg y Fe.

Muestra	ACT01-15-060 (IIb)	ACT01-15-075 (IIc)	ACT01-15-106 (IIc)
Litología	Limos negros carbonosos	Limos negros	Lutitas negras a rojizas
Cuarzo	84.92%	80.95%	85.34%
Caolinita		4.98%	
Clorita			4.6%
Jarosita	4.58%		

Anatasa		3.36%	
Muscovita	4.46%	7.72%	1.99%
Augita		1.0%	
Albita	1.81%		3.6%
Huntita	1.21%		
Molisita	0.97%		
Yeso			1.86%
Pirita	0.84%		1.24%
Arsenopirita			0.25%
Natrojarosita			1.12%
Fluorapatita	0.72%		
Ramadellita		1.12%	
Wollastonita	0.49%	0.87%	

4.2.2.3. Formación Gramadal (Calizas grises fosilíferas, lutitas negras y areniscas calcáreas)

Las muestras que se analizaron corresponden a 13 muestras de calizas y 1 de areniscas. La clasificación geoquímica solo se realizó para la arenisca, la cual corresponde a una waca (Fig. 4.4A). En el diagrama multielemental de las calizas y arenisca (Fig. 4.4B) se observa elevados contenidos de Ca (197949-374550 ppm), seguido del Fe (1760- 21700 ppm), en tanto que los contenidos de Na (132- 1300 ppm), K (168-4350 ppm) y Mn (156- 3600) son variables, siendo el Mg (1719- 101900 ppm) el de mayor variabilidad; por otro lado, el contenido de P (133-550 ppm) es más homogéneo.

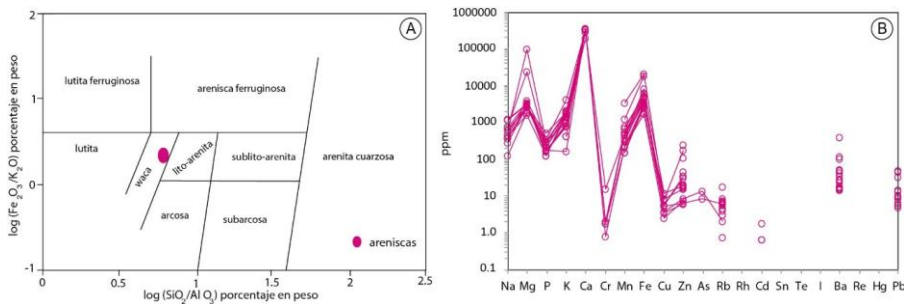


Figura 4.4: A. Clasificación química de areniscas (después de Herron, 1988). B. Diagrama multielemental normalizada a la corteza superior (según Taylor and McLennan, 1985, *1981).

El análisis mineralógico de catorce muestras se realizó mediante Difracción de Rayos X (Tablas 4.6 y 4.7) y cuyos difractogramas se encuentran en el anexo 2.

Tabla 4.6: Resultados del análisis mineralógico por Difracción de Rayos X, para las calizas packstone y bounstone de la Formación Gramadal. Los porcentajes marcados en rojo corresponden a minerales en cuya composición presentan Mg y Fe.

Muestra	ACT01-15-061	ACT01-15-091	ACT01-15-071	ACT01-15-053	ACT01-15-070
Litología	Calizas packstone fosilíferos	Calizas packstone, gris oscuro	Calizas packstone, gris	Calizas bounstone gris oscuro	Areniscas Calcárea gris de grano medio
Calcita	65.46%	88.87%	92.9%	93.37%	92.90%
Cuarzo	10.94%	10.33%	6.11%	6.31%	2.34%

Caolinita		0.8%			
Muscovita				0.32%	
Ankerita	23.6%				
Analcima			0.74%		
Ilmenita			0.25%		

Tabla 4.7: Resultados del análisis mineralógico por Difracción de Rayos X, para las calizas mudstone, grainstone y wackestone de la Formación Gramadal. Los porcentajes marcados en rojo corresponden a minerales en cuya composición presentan Mg y Fe.

Muestra	ACT01-15-049	ACT01-15-068	ACT01-15-050	ACT01-15-051	ACT01-15-052	ACT01-15-069
Litología	Calizas mudstone de color negro	Calizas mudstone, gris	Calizas grainstone de color pardo	Calizas gainstone de color gris claro	Calizas wackestone gris claros	Calizas wackestone gris
Calcita	93.8%	93.68%	92.45%	97.68%	96.5%	93.38%
Cuarzo	4.94%	4.58%	7.55%	2.11%	2.85%	5.72%
Clinoptilolita	0.58%					
Ulexita	0.39%					
Caolinita					0.37%	
Muscovita						
Ankerita	0.29%				0.28%	
Damburita				0.21%		
Augita		1.01%				
Albita		0.73%				0.54%
Ilmenita						0.36%

4.2.2.4. Formación Hualhuani (Areniscas cuarzosas)

Las muestras que se analizaron corresponden a 10 muestras de areniscas y 1 de lutita. En el diagrama de clasificación geoquímica las areniscas (Fig. 4.5A) caen en el campo de areniscas cuarzosas, por otro lado, las muestras que caen en el campo de areniscas ferruginosas se encuentran afectadas por venillas de óxidos. Las lutitas caen en el campo de lodolitas.

En el diagrama multielemental (Fig. 4.5B) se observa altos contenidos en Fe (3100- 420800, Ca (600- 347000 ppm), seguidos del K (1090- 102500 ppm), Mg (195- 20550 ppm) y Na (389- 13100 ppm); en tanto que, los contenidos más bajos en elementos mayores son el P (100- 6400 ppm) y Mn (78- 7550 ppm). Los contenidos de elementos traza como el Zn (3-165 ppm), As (7-110 ppm), Rb (1.8-130 ppm) son los más altos, seguidos del Cr (1.5-87 ppm), Cu (2-35 ppm) y Pb (6-66 ppm); mientras que los contenidos en Cu (2-35 ppm) y Sn (1-3 ppm) son los más bajos.

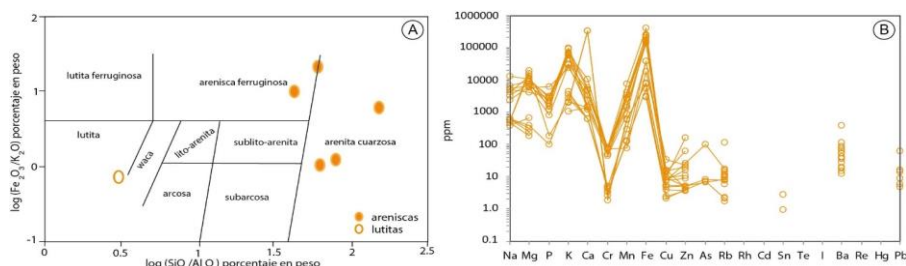


Figura 4.5: A. Clasificación química de areniscas (después de Herron, 1988). B. Diagrama multielemental normalizada a la corteza superior (según Taylor and McLennan, 1985, *1981).

Por otro lado, tenemos que, las areniscas, lodolitas, calizas y areniscas cuarzosas fueron caracterizadas en base a la clasificación química de areniscas (Pettijohn et al. 1972). En el diagrama ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) VS $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ donde se indica el grado de madurez mineralógica (Fig. 4.6), en el gráfico se observa que las areniscas de la Formación Cachíos muestran una variación composicional de sub-arcosas a litarenitas, lo que indica que tienen una madurez mineralógica intermedia a baja, la Formación Labra está constituida por litarenitas y sub-arcosas, lo que indica una madurez baja a intermedia, la Formación Gramadal indica una composición arcósica indicando madurez mineralógica intermedia, mientras que la Formación Hualhuani presenta una composición de arenisca cuarzosa e indica alta madurez mineralógica de acuerdo a su composición silíceo, los círculos rojos resaltan la marcada diferencia entre ambos grupos de muestras, lo que sugiere una diferenciación entre el Grupo Yura y la Formación Hualhuani, donde además de resaltar dichas diferencias en análisis sedimentológicos también se observa en los datos geoquímicos representados, se plantea que este tipo de análisis contribuyan al cartografiado de rocas sedimentarias.

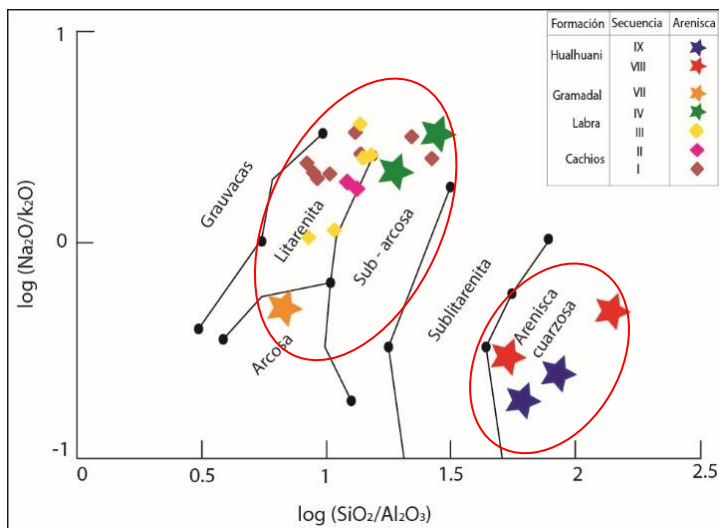


Figura 4.6: A. Clasificación química de las rocas sedimentarias del Grupo Yura y Formación Hualhuani en base al gráfico de Pettijohn, 1992.

Lo mismo ocurre en los gráficos de elementos mayores, la tendencia del contenido de estos elementos como el SiO_2 (parte superior) y CaO (parte inferior) indica también una fuerte variación, donde se evidencia un cambio brusco en la composición de ambos grupos (Fig. 4.7). Por lo cual con estas evidencias se estaría marcando un cambio entre el tiempo Jurásico y Cretácico, demostrando que la geoquímica en conjunto con la sedimentología son una herramienta para diferenciar tiempos geológicos.

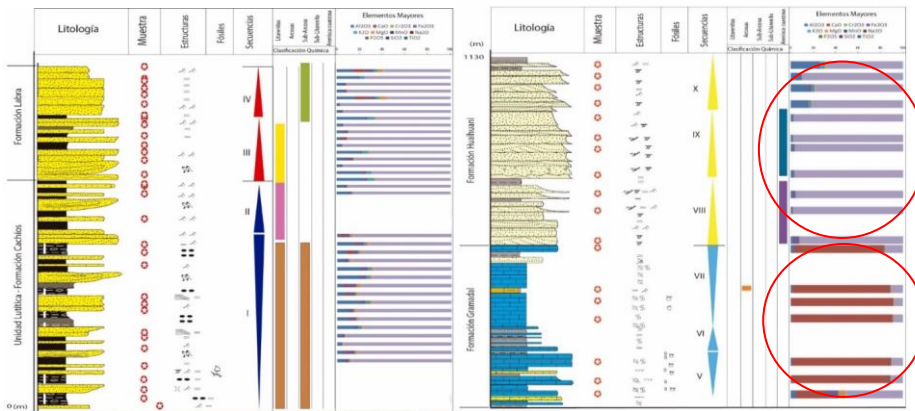


Figura 4.7: A. Clasificación química de las rocas sedimentarias del Grupo Yura y Formación Hualhuani en base a elementos mayores.

4.2.2. CONTENIDOS PROMEDIO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA

Con la finalidad de comparar el comportamiento de los elementos entre las diferentes formaciones, se ha elaborado diagramas de barras (Fig. 4.14) con el promedio de todos los valores reportados, es decir no se consideran los valores por debajo del límite de detección.

Es así que, los menores contenidos promedio en Na (<700 ppm) lo presentan las formaciones Gramadal y Hualhuani conformado por vacas y areniscas cuarzosas, respectivamente donde la plagioclasa es escasa. Por otro lado, el menor contenido promedio en Mg (<400 ppm) se halla en la Formación Labra, conformada por rocas de composición arcosas y sublitoarenitas,

El contenido promedio más alto en P (> 1000 ppm) se presenta en la Formación Hualhuani, las areniscas cuarzosas probablemente contengan apatito. En tanto que, se observa bajos contenidos (<300 ppm) en la Formación Gramadal, donde el P es de origen biogénico el cual está asociado a las calizas.

El mayor contenido promedio de K (>32000 ppm) lo presentan las areniscas de la Formación Hualhuani, al parecer está relacionado a la hornblenda y no al feldespato, ya que se observan bajos contenidos de Rb. En tanto que, los valores más bajos en K (<6000 ppm) lo presentan las calizas de la Formación Gramadal.

Los mayores contenidos en Ca (>50000 ppm) se observan en la Formación Gramadal, que evidentemente está asociado a las calizas de origen marino. En tanto que, los menores contenidos se hallan en las formaciones Cachís y Labra

Por otra parte, los mayores contenidos promedio en Fe (>40000 ppm) se observan en las formaciones Labra y Hualhuani; en la primera se debe a la presencia de pirita sedimentaria reportado en el análisis de Rayos X, en la segunda está relacionada a venillas de óxidos de hierro en zonas brechadas. Mientras que, en la Formación Gramadal se reportan los más bajos

contenidos de Fe (10000 ppm) y están asociados a rocas calizas donde los minerales ferromagnesianos son escasos.

Los contenidos mayores en Mn (>1400 ppm) se presentan en la Formación Hualhuani y estos están muy probablemente absorbidos en los óxidos hidratados de hierro y óxidos de manganeso presentes en dichas unidades. Por otro lado, los contenidos menores en Cr (<20 ppm) se encuentran en la Formación Gramadal.

También se observa altos contenidos de Zn (131 ppm) en la Formación Cachíos, que posiblemente obedece al contenido de materia orgánica en las lutitas, mientras que la Formación Hualhuani tiene los más bajos contenidos en Zn (25 ppm). La Formación Labra presenta los contenidos más bajos en As (<40 ppm) a pesar de la presencia de arsenopirita en lutitas.

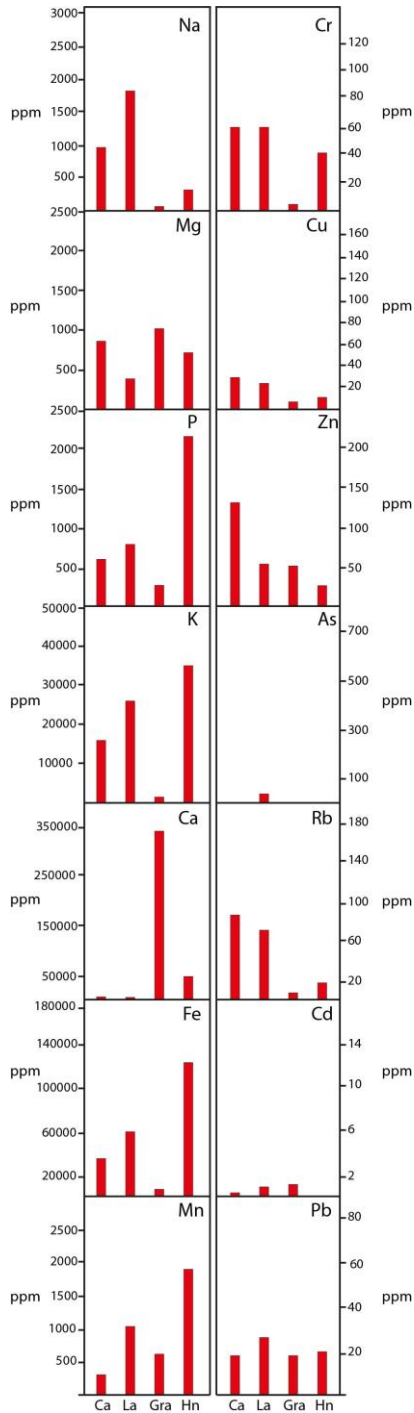


Figura 4.14: Diagramas de barra con los contenidos promedio de elementos mayores y traza en las diferentes formaciones geológicas.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

- La interpretación de datos litogeoquímicos proporcionó una información más clara sobre la composición química de las rocas siliciclásticas del Grupo Yura, y esto se utilizó como una herramienta para realizar una clasificación de las areniscas y lutitas en base a la composición química, para lo cual se utilizó dos clasificaciones Pettijohn,(1972) y Herron (1988). quienes se basan en las proporciones de elementos mayores (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O y Fe_2O_3). Tomando en consideración esta clasificación, se declara que en el Grupo Yura existen al menos tres tipos de areniscas tales como arcosas, grauvacas y cuarzoarenita (formaciones Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani), siendo las grauvacas y arcosas más predominantes en las formaciones Gramadal y Cachíos, y las cuarzoarenitas más predominantes en las Formaciones Labra y Hualhuani.
- La evolución sedimentaria del Grupo Yura (Calloviano-Tithoniano) indicaría el inicio de los depósitos de la llanura de inundación, tales ingresiones marinas revelan la proximidad de un entorno marino poco profundo y la depositación de carbonato incipiente, que correspondería a las formaciones Cachíos y Gramadal. Mientras tanto, las areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani (Berriasiano) se depositan como canales de areniscas. Tanto el Grupo Yura como la Formación Hualhuani corresponden a un sistema fluvial progradacional, en el que dos estilos regulaban la dispersión de sedimentos: a) un entorno serpenteante de sinuosidad alta a moderada (Grupo Yura) y b) un trenzado incipiente posterior (Formación Hualhuani).
- Las rocas mesozoicas del área de estudio comprenden una secuencia sedimentaria del Jurásico Medio al Cretácico Inferior depositado durante un intervalo de tiempo de aproximadamente 34 millones de años, las cuales constituyen el Grupo Yura (Calloviano a Tithonian) y la Formación Hualhuani. Tithoniano. En base a datos sedimentarios y geoquímicos se sugiere la diferenciación del anteriormente denominado Grupo Yura (formaciones Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani) sugiriendo un refinado del marco estratigráfico.

RECOMENDACIONES

- Se debe realizar estudios litogeoquímicos en el estratotipo del Grupo Yura (Departamento Arequipa), para realizar correlaciones geoquímicas con el área de Ichuña-Moquegua, para lograr definir con mayor certeza las características propias de las formaciones.
- Los estudios de litogeoquímica deben ser complementados y/o contrastados con estudios de minerales pasados, isotopos y geocronología de zircones para lograr interpretaciones más consistentes sobre los procesos ocurridos en la Cuenca Arequipa.
- Se sugiere realizar análisis petrográficos de rocas sedimentarias (areniscas, calizas, lutitas) para determinar procedencia de los minerales y estimar patrones característicos, posteriormente correlacionar con los datos obtenidos en la zona o con los ya registrados en la Cuenca, a manera de alcanzar una interpretación regional.
- Realizar un estudio estructural en la zona de estudio se vuelve necesario porque permite establecer la geometría dela cuenca, así como la dinámica de esta.

REFERENCIAS

- Acosta et al. (2011). Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca hojas 36v y 36x. Boletín N°139. Serie A. Carta Geológica Nacional. Ingemmet. Lima, Perú
- Ahlfeld, F. & Branisa, L. (1960) – *Geología de Bolivia*. La Paz-Bolivia, CO: Instituto Boliviano del Petróleo, 245 p.
- Andressa, T.; Penteadó, A.; Labouré, C.; Moreira, A. & Lambert, J. (2015) – Geology and Hydrothermal Alteration of the Chapi Chiara Prospect and Nearby Targets, Southern Peru, Using ASTER Data and Reflectance Spectroscopy. *Economic Geology*, vol. 110, 73-9 p.
- Benavides, V. (1962) – Estratigrafía pre-Terciaria de la región de Arequipa. *Sociedad Geológica del Perú*, Boletín, vol. 38, parte III, 63 p.
- Bellon, H. & Lefevre, C. (1976) – Données géochronométriques sur le volcanisme andin dans le sud du Pérou. Implications volcano tectoniques. *Comptes Rendous de l'Académie des Sciences, Boletín Serie D: Sciences Naturales*, tomo 283, n. 1, 1-4 p.
- Cabos, R. (2009) – Potencial Minero de la Región Puno. *GEOCAB S.A.*, Tomo 6, 212 p.
- Cabrera, A. & Petersen, G. (1936) – Reconocimiento geológico de los yacimientos petrolíferos del departamento de Puno. *Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú, Boletín*, 115, 1-102 p.
- Carlotto, et al. (2009). Alto estructural totos-paras (Ayacucho): límite paleogeográfico en la evolución mesozoica de las cuencas Pucará (triásico superior-liásico) y Arequipa (jurásico-cretácico). Volumen Especial N° 7 Víctor Benavides Cáceres (2009) p. 1-46
- Caldas, J. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa, *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 46, 62 p.
- Cárdenas G. (1982). *Moromolle - La Capilla, su Paleogeografía y Tectónica. Tesis de Ingeniero, Universidad nacional de San Agustín, Arequipa.*
- Carlotto, V. et al. (2005) – Las cuencas terciarias en el Altiplano y en la Cordillera Occidental del sur del Perú. *Sociedad Geológica del Perú*, Volumen Especial, 6, 103-126 p.
- Carrasco, S. (2002) - *Características petrográficas y geoquímicas del Grupo Barroso en los cuadrantes III y IV del cuadrángulo de Ichuña (33-u)*. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional De San Agustín, Arquipa, 108 p.
- Cerpa, L. & Meza, P. (2001) – *Las cuencas neógenas del sur del Perú, la cuenca Descanso-Yauri (Mioceno); evolución sedimentológica y tectónica*. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, 130 p.

Cerpa, L. et al. (2012) – *Sedimentología de la cuenca Ccanccosane (Mioceno inferior), Santa Lucia, Puno. En: Congreso Peruano de Geología, 16, Lima, 2012. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 4 p.*

Chávez, A. (1982) – *Estratigrafía y tectónica del sector de Chapi*. Tesis, Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, 101 p.

Cruz, F. (1996) – *Geología y evaluación preliminar de las calizas del sector Curire-Chaclaya, distrito de Ichuña - Moquegua*. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 117 p.

Cuellar, F. (2001) – *Estratigrafía, sedimentología y tectónica de las series Meso-Cenozoicas del cuadrángulo de Pichacani (Hoja 33-v) Cuadrante II (SE), Sur del Perú*. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, 92 p.

Dávila, D. (1989) - *Estratigrafía cenozoica del valle del río Grande, cuenca de Pisco, Perú. Sociedad Geológica del Perú, Boletín N° 80, 65-76 p.*

Darnley, A. (1995) – *A Global geochemical database. Recommendations for international geochemical mapping*. France: Eds. UNESCO, 122 p. Final report of IGCP project 259.

De la Cruz, J.; Morton, A.C. & Humphreys, B. (1986) – *Report of Stratigraphie and Sedimentology Research Group – Provenance of Mesozoic sandstone from SE Peru: a mineralogical study*. Perú: INGEMMET. (Report No. SRG/86/13)

Douglas, J. (1914) – *Geological sections through the Andes of Peru and Bolivia: I-from the coast at Arica in the North of Chile to La Paz and the Bolivian “Yungas”*. *Geological Society of London, Quarterly Journal*, vol. 70, n. 277, 1-52 p.

Estudio de los recursos minerales del Perú Franja N° 1. *INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica*, 8, 195 p.

García, W. (1978) – *Geología de los cuadrángulos de Puquina, Omate, Huaitire, Mazo Cruz y Pizacona, hojas 34-t, 34-u, 34-x, 34-y*. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 29, 63 p.

Gerth, H. (1915) – *Geologische und morphologische Beobachtungen in den Kordilleren Südperus*. *Geologische Rundschau*, vol. 6, n. 3, 129-153 p.

Guerrero, J. (1990) – *Estudio geológico preliminar del yacimiento carbonífero Santa Cruz de Oyo-Oyo, cuenca de Ichuña*. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 138 p.

Guillén, L. (1983) – *Estratigrafía y paleoambientes del área Coalaque - Omate - Moquegua*. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, 75 p.

Henning, D.; Lehmann, B.; Burgess, R. & Nekouvaht, M. (2008) – Geology, geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the Cerro Millo epithermal high-sulfidation gold prospect, southern Peru. *Ore Geology Reviews*, 34, 304-316 p.

Herron, M. (1988) - Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 58, 820-829 pg.

Jenks, W. (1945) – La Geología de Arequipa y sus alrededores. *Informaciones y Memorias de la Sociedad de Ingenieros del Perú*, vol. 46, n. 9, 498-500 p.

Jenks, W. (1946) - Tertiary and Quaternary vulcanism in southern Peru. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 57, n. 12, part 2, 1209 pp.

Jenks, W. (1948) – Geología de la hoja de Arequipa al 200,000. *Instituto Geológico del Perú, Boletín*, 9, 204 p.

Klinck, B. (1986) – *The geology of the Cordillera Occidental and Altiplano West of Lake Titicaca Southern Peru*. Lima-Perú, CO: British Geological Survey - INGEMMET, 353 p.

Le Bas, M., Le Maitre, R., Streckeisen, A. & Zanettin, B. (1986) - A Chemical Classification of Volcanic-Rocks Based on the Total Alkali Silica Diagram. *Journal of Petrology* 27(3), 745-750p.

León, I. (1981) – *Antecedentes sedimentológicos del Jurásico Cretácico inferior de la zona de Yura*. Tesis de Bachiller, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 84 p.

Lipa, V.; Valdivia, W. & Carrasco, S. (2001) – *Memoria explicativa de la revisión geológica del cuadrángulo de Ichuña (33-u)*. Lima-Perú, CO: INGEMMET, 12 p.

Luque, E. (1993) – *Estudio geológico geotécnico definitivo de rehabilitación de la carretera Cutimbo – Pichacani*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, 100 p.

Marocco, R. & Del Pino, M. (1966) - Geología del Cuadrángulo de Ichuña (hoja 33-u), *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 14, 57 p.

Mendivil, S. (1965) - Geología de los Cuadrángulos de Maure y Antajave (hojas 35-x, 35-y), *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 10, 99 p.

Mendivil, S. (1982) – El sillar de Arequipa, *El Ingeniero Geólogo*, vol. 19, 1-53 p.

Miall, A.D., 1976. Facies Models 4. Deltas. *Geoscience Canada*, v. 3, No. 3, p. 215-227.

Miall, A.D., 1985. Architectural-Element Analysis: A new Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth-Science Reviews*, v. 22, p. 261-308.

Monge, R. & Cervantes, J. (2000) – *Memoria explicativa de la geología del cuadrángulo de Pachia y Palca (36-v)*. Lima-Perú, CO: INGEMMET, 11 p.

Newel, N. (1945) – Investigaciones geológicas en las zonas circunvecinas al Lago Titicaca. *Sociedad Geológica del Perú*, n. 18, 44-68 p.

Newel, N. (1949) – Geology of the lake Titicaca region, Peru and Bolivia. *The Geological Society of America, Memoria*, 36, 168 p.

Palacios, O.; De la Cruz, J.; De la Cruz, N.; Klinck, B. & Hawkins, M. (1993) – Geología de la Cordillera y Altiplano al oeste del Lago Titicaca – Sur del Perú (Proyecto integrado del Sur). *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 42, 257 p.

Portugal, J. (1974) – Mesozoic and Cenozoic Stratigraphy and Tectonic Events of Puno-Santa Lucia Area, Department of Puno, Peru. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, vol. 58, No. 6, 982-999 p.

Rose, A.; Hawkes, H. & Webb, J. (1979) – *Geochemistry in Mineral Exploration*. Second edition. London: Academic Press, 657 p.

Remigio, F. (2012) – *Domos, diatremas y piroclastos del Complejo Volcánico Chucapaca, evidencias de sistemas epitermales*. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 169 p.

Rodriguez, R.; Palomino, C.; Cuéllar, F. (2000) – *Mapa geológico del cuadrángulo de Pichacani (33-v), hoja 33-v, cuadrantes I al IV*, escala 1:50 000. Lima: INGEMMET, 4 mapas.

Rodriguez, R.; Cuellar, F.; Loza, M.; Palomino, F. & Valdivia, E. (2002) – Descripciones del relleno Oligoceno-Mioceno entre las cuencas Tincopalca y Huacochullo, borde oriental de la Cordillera Occidental *entre los departamentos de Puno y Arequipa*. En: *Congreso Peruano de Geología, 11, Lima, 2002. Trabajos científicos*. Lima: *Sociedad Geológica del Perú, tomo 1, p. 265-272*.

Rousse, S.; Gilder, S.; Fornari, M. & Sempere, T. (2005) - Spatial and temporal constraints on Neogene tectonics of the Peruvian Altiplano from new paleomagnetic and geochronologic data. En: 6th International Symposium on Andean Geodynamics, Universitat de Barcelona. *Extended abstracts*, 627-629 p.

Rueda, A. (2012) - *Tipos e distribuição da alteração hidrotermal no prospecto aurífero de Chapi Chiara Departamento de Puno – Sul do Peru*. Tesis de licenciatura, Universidad Estadual de Campinas, Campinas, 65 p.

Taylor, R., & McLennan, S., (1985) - *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, U.K. 312 p.

Tosdal, R.; Farrar, E. & Clark, A. (1981) – K-Ar geochronology of the late cenozoic volcanic rocks of the Cordillera Occidental, Southernmost Peru. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 10, n. 1-3, 157-173 p.

- Torres, W. (1995) – *Estudio geológico del yacimiento carbonífero Primavera I (Ichuña – Moquegua)*. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 84 p.
- Torres, D. (2011) – *Estratigrafía, Sedimentología y Tectónica de la Cuenca Condoroma (Mioceno), Arequipa, Sur del Perú*. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 176 p.
- Valencia, M. & Rossell, S. (2003) – *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Puno (32-v)*. Lima-Perú, CO: INGEMMET, 34 p.
- Vargas, L. (1970) - Geología del cuadrángulo de Arequipa. *INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional*, 24, 64 p.
- Vicente, J.-C.; Sequeiros, F.; Valdivia M. & Zavala, J. (1979) – El sobre-escurrimiento de Cincha-Lluta: elemento del accidente mayor andino al NW de Arequipa. *Sociedad Geológica del Perú*, Boletín, vol. 61, 67-99 p.
- Vicente, J.-C. (1981) – Elementos de la Estratigráfica Mesozoica Sur-peruana. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico: Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur. Vol. 1, 319-351
- Vicente, J.-C. (1985) – Early late Cretaceous overthrusting in the Western Cordillera of Peru. En: Symp. Geology of the Andes and its relations to energy and mineral deposits, Santiago 1985. Am. Ass. Petrol. Geol. Mem.
- Vicente, J.C., 1989. Early late Cretaceous overthrusting in the western cordillera of southern Peru. In: Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources. Ericksen, G.E., Canas-Pinochet, M.T., Reinemund J.A., (Eds.), *Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series 11*, 91-117.
- Wasteneys, H.A. (1990) – *Epithermal silver mineralization associated with a mid-Tertiary diatreme; Santa Barbara, Santa Lucia District, Puno, Peru*. Tesis Ph.D., Queen's University, Kingston, 528 p.
- Wilson, J. & García, W. (1962) – Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca (Hojas 36-v y 36-x). *Comisión Carta Geológica Nacional*, Vol. 2, No. 4, 82p.