

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



**TESIS PROFESIONAL**

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA  
FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO  
CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

***Elaborado Por:***

***Bachiller: Oscar Eduardo Amorós Barrantes***

***Asesor:***

***MCs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales***

**CAJAMARCA - PERÚ**

**2014**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA  
FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO  
CHUCAPACA, MOQUEGUA – PERÚ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
GEÓLOGO

*Elaborado Por:*

*Bachiller: Oscar Eduardo Amorós Barrantes*

*Asesor:*

*MCs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales*

*Cajamarca, Abril del 2014*

### *Agradecimientos*

En primer lugar agradezco a la *Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica* y a los *docentes* que fueron los encargados de brindarme los conocimientos para desenvolverme en el ámbito profesional.

Doy Gracias a las *Empresas GoldFields S.A. y Canteras del Hallazgo S.A.C.* quienes patrocinaron la elaboración de esta tesis, así mismo hago extensivo el agradecimiento al *Ing. Rubén Valer*, gerente del área de Geología del Proyecto Chucapaca.

Hago mención especial a los geólogos *Peter Dunkley y Alina Gaibor* por ser los promotores y apoyo constante para la realización de este proyecto de Tesis. Asimismo expreso mi agradecimiento a los geólogos del Proyecto Chucapaca: *Fernando Remigio, Luis Falcon, Elena Malásquez, Moises Pacho, Shirley Custodio, Abel Zorrilla, Favio Coaguila, Milton Gonzales, Edwin Ccaso, Fredy Ramos, Sabino Chaiña*, que gracias a sus sugerencias y apoyo constante la elaboración de este proyecto no hubiese sido posible.

Un agradecimiento especial al personal de apoyo en campo: *Abraham Gonzales, Guzmán Torres, Flavio Quispe, Roger Cuti, Cesar Ticona, Alexander Canahuire* y *personal de apoyo de comunidad*, sin los cuales hubiese sido imposible recolectar las muestras de campo y siempre estuvieron dispuestos a apoyar y salir a campo.

Del mismo modo agradezco al *Ing. José Siveroni Morales*, asesor de tesis quien gracias a su orientación y revisión, fue posible la culminación de esta Tesis.

***Dedicatoria***

A mis Padres Oscar, Edita y  
hermano Cristhian quienes  
diariamente me motivaron  
a cumplir todos mis objetivos  
y me apoyaron en todo momento.

A Angélica que siempre  
estuvo apoyándome en  
mis decisiones y es un  
soporte constante.

A Jaime Amorós y Carlos Amorós  
quienes me prestaron todo su apoyo  
durante los años que estuve en la  
Universidad.

A mi Abuelita<sup>†</sup> porque  
sus enseñanzas estarán  
siempre en mí vida.

A Juan, Inés y Luchito  
por su apoyo incondicional  
y amistad.

**OSCAR**

## **RESUMEN**

La tesis se centra en elaborar columnas estratigráficas al detalle de la Formación Gramadal emplazadas en los alrededores del Proyecto Chucapaca, a fin de reconocer las diferencias en la sedimentación de la cuenca; mediante la identificación de las diversas litologías presentes, para ello se utilizó los niveles Silicoclásticos identificados para poder realizar una correlación estratigráfica.

Al momento de realizar el cartografiado de las columnas estratigráficas, se dividió en dos zonas de estudio: La primera zona adyacente al depósito Canahuire donde se ubicó las columnas Norte y Sur correspondientes a su ubicación respecto al depósito; y La segunda zona ubicada en la zona denominada “Pampa Chucapaca” en la cual se ubicó las columnas Yunga y Huanacamaya.

En las columnas adyacentes al Depósito Canahuire se tuvo especial interés en reconocer si existió algún tipo de asimilación mineral al momento del emplazamiento del depósito; los resultados geoquímicos de las columnas Norte y Sur, en lo correspondiente a elementos mayores, los resultados no presentan ningún dato anómalo; en lo concerniente a elementos traza podemos identificar que existen resultados anómalos puntuales en los minerales: Ba, Sr, As, Pb y Mn; los cuales no tienen ningún tipo de relación con la mineralización del depósito ya que sus valores pese a ser anómalos no tienen correlación entre ellos. En cuanto a las tierras raras se tiene los valores más elevados en las muestras que se ubican en la base de la columna, indicándonos que existió una zona de transición entre la Fm. Labra y Gramadal.

Los elementos mayores en las columnas Yunga y Huanacamaya, no presentan ningún dato considerado anómalo que corresponda a la litología presente; respecto a los elementos traza tenemos que en ambas columnas se dan resultados anómalos de los siguientes minerales: Ba, As, Hg, Mn, Li, Pb; presentándose esas anomalías en la zonas superiores de las columnas; en los resultados correspondientes a tierras raras se tiene datos anómalos también en las zonas superiores de las columnas, siendo estos originados de manera supérgena y no ser de origen hipógeno.

Al realizar el análisis estratigráfico de todas las columnas se logró identificar que el principal factor que favoreció la mineralización del depósito Canahuire fue la presencia de calizas con estratificación ondulada por ser una estructura que facilitó el paso de fluidos hidrotermales mineralizados y calizas con textura gruesa predominantemente de grano soportado, presentes en las cuatro columnas, estas características las encontramos entre el Primer y Segundo nivel silicoclástico; al realizar la proyección de las columnas y compararlas con las secciones elaboradas con sondajes tenemos que las zonas de más alta mineralización, coinciden en ubicación espacial con las zonas que tienen la presencia mineral más importante de: Au, Ag y Cu, por lo cual se concluye que el factor principal que influyó en la mineralización del depósito Canahuire fue la presencia de estratificación ondulada y la textura gruesa de las calizas.

## **ABSTRACT**

This research is focuses on developing Stratigraphic Columns of Gramadal Formation, stationed around the Chucapaca Project, to thus able to recognize the differences in the sedimentation basin, identifying the various lithologies present, using siliclastic levels to perform a Stratigraphic correlation.

At the time of the Stratigraphic survey has been divided into two areas of study, the first adjacent to Canahuire Deposit, which North and South Columns corresponding to relative location to the Target, the second zone is located in an area called “Pampa Chucapaca” in which Yunga and Huanacamaya names is given by the communities to which their belong.

In the adjacent columns to the Canahuire Deposit special interest was held to recognize if had some kind of assimilation when Canahuire emplace, taking geochemical results of the Northern and Southern Columns. In major elements, the results no present any anomaly, regard to trace elements can identify existing some high levels of minerals such as: Ba, Sr, As, Pb and Mn; which do not have any relationship with the mineralization of the Canahuire Deposit. As for the rare Earth has the highest values in the samples that is located in the base of the column, indicating that there assimilation of rare earth but it is supergene.

In Yunga and Huanacamaya columns does not present any anomalous data in comparison with the lithology, in trace elements in both columns has anomalous elements in minerals such as: Ba, As, Hg, Mn, Li, Pb, giving those anomalies in the upper zone of the column, about rare earth elements has anomalous data in the upper zone of the column, it is focus in supergene alteration and not hypogene.

At moment to complete the Stratigraphic Analysis of all columns we identified that the principal factor favoring to mineralization of Canahuire Deposit was the presence of limestone with wavy stratification and coarse texture, presents in the four columns. This feature is present between the first and the second silicoclastic level, when the columns was project in the elaborate sections with drilling, the areas with high mineralization, have spatial location agree with the place that has the most important content of Au and Ag, it is concluded that the main factor in the mineralization of Canahuire deposit was the wavy limestone and coarse texture.

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

	<b>Pág.</b>
Portada Interna .....	I
Agradecimientos.....	II
Dedicatoria .....	III
Resumen .....	IV
Abstract .....	VI
Índice de Contenidos.....	VIII
Lista de Gráficos .....	XVI
Lista de Figuras .....	XVII
Lista de Fotografías.....	XVIII
Lista de Tablas.....	XXI
Lista de Planos.....	XXIV

**CAPITULO I**

**INTRODUCCIÓN**

	Pág.
<b>1.1. Planteamiento del Problema</b>	<b>1</b>
<b>1.1.1. Definición del Problema</b>	<b>1</b>
<b>1.1.2. Justificación del Problema</b>	<b>1</b>
<b>1.1.3. Formulación del Problema</b>	<b>2</b>
<b>1.1.4. Delimitación del Estudio</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Objetivo de la Investigación</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1. General</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2. Especifico</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Formulación de Hipótesis</b>	<b>3</b>

**CAPITULO II**

**MARCO TEÓRICO**

<b>2.1. Antecedentes</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Definición de Términos Básicos</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1. Rocas Carbonatadas</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1.1. Origen</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1.1.1. Rocas Carbonatadas Detríticas</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1.1.2. Rocas Carbonatadas Autóctonas o in situ</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1.1.2.1. Componentes Ortoquímicos</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1.1.2.2. Componentes Aloquímicos</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Rocas Carbonatadas</b>	<b>9</b>
<b>2.3.1. Diagénesis de Carbonatos</b>	<b>10</b>

	<b>Pág.</b>
<b>2.3.2. Clasificación de Rocas Carbonatadas</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2.1. Clasificación de Folk</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2.2. Clasificación de Dunham</b>	<b>14</b>
<b>2.3.3. Microfacies de Carbonatos</b>	<b>17</b>
<b>2.3.4. Controles Mayores en Sedimentación de Carbonatos</b>	<b>18</b>
<b>2.3.5. Mineralogía de Carbonatos</b>	<b>18</b>
<b>2.3.5.1. Calcita</b>	<b>18</b>
<b>2.3.5.2. Aragonito</b>	<b>19</b>
<b>2.3.5.3. Dolomita</b>	<b>20</b>
<b>2.3.5.4. Siderita</b>	<b>20</b>
 <b>CAPITULO III</b>  <b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>3.1. Metodología</b>	<b>21</b>
<b>3.1.1. Procedimiento y Técnicas para la recolección de Datos</b>	<b>21</b>
<b>3.1.2. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos</b>	<b>23</b>
<b>3.1.2.1. Detalle de cada método de Análisis</b>	<b>23</b>
<b>3.1.2.1.1. ME – XRF06</b>	<b>23</b>
<b>3.1.2.1.1.1. Descomposición de la Muestra</b>	<b>23</b>
<b>3.1.2.1.1.2. Métodos de Análisis</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2.1.2. ME – MS81</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2.1.2.1. Descomposición de la muestra</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2.1.2.2. Método de Análisis</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2.1.3. ME – MS41L</b>	<b>25</b>
<b>3.1.2.1.3.1. Descomposición de la Muestra</b>	<b>25</b>

	<b>Pág.</b>
3.1.2.1.3.2. Método de Análisis	26
3.1.2.1.4. C – GAS05	27
3.1.2.1.5. C – IR07	27
3.1.2.1.6. S – IR08	28
3.1.3. Control de Calidad de Datos	28
3.2. Materiales	29
3.2.1. Autocad 2012	29
3.2.2. ARCGIS 10	29
3.2.3. ioGAS 4.5	29
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>PROYECTO CHUCAPACA</b>	
4.1. Ubicación y Accesibilidad	31
4.1.1. Ubicación	31
4.1.1.1. Políticamente	31
4.1.1.2. Geográficamente	31
4.1.2. Accesibilidad	31
4.2. Geología Local y Regional	34
4.2.1. Estratigrafía Local	34
4.2.1.1. Grupo Yura	37
4.2.1.1.1. Formación Cachios	37
4.2.1.1.2. Formación Labra	37
4.2.1.1.3. Formación Gramadal	38
4.2.1.2. Formación Hualhuani	38
4.2.1.3. Formación Murco	38

	<b>Pág.</b>
4.2.1.4. Grupo Puno	40
4.2.1.5. Grupo Tacaza	40
4.2.1.6. Grupo Maure	41
4.2.1.7. Grupo Sillapaca	42
4.2.1.7.1. Complejo Volcánico Chucapaca	42
4.2.1.7.2. Complejo Dómico Dacítico – Riolítico Pacorcco	42
4.2.1.7.3. Formación Llallahui	43
4.2.1.8. Grupo Barroso	43
<b>4.3. Evolución Tectónica</b>	<b>44</b>
4.3.1. Fase Tectónica Peruana	44
4.3.2. Fase Tectónica Inca	45
4.3.3. Fase Tectónica Quechua	46
<b>4.4. Geología Estructural</b>	<b>47</b>
4.4.1. Foto Interpretación de Imágenes	49
4.4.2. Validación de Lineamientos en Campo	49
4.4.3. Cronología Relativa	50
4.4.4. Medición de Datos Cinemáticos	50
<b>CAPITULO V</b>	
<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADO</b>	
<b>5.1. Resultados de la Investigación</b>	<b>54</b>
5.1.1. Columnas Estratigráficas	54
5.1.2. Columnas en Canahuire	54
5.1.2.1. Columna Bloque Norte	55

	<b>Pág.</b>
5.1.2.2. Columna Bloque Sur	56
5.1.3. Columnas en la Zona “Pampa Chucapaca”	58
5.1.3.1. Columna Huanacamaya	58
5.1.3.2. Columna Yunga	59
5.1.4. Geoquímica de Rocas	60
5.2. Análisis de la Información	63
5.2.1. Análisis geoquímico	63
5.2.1.1. Elementos Mayores	64
5.2.1.2. Elementos Traza	64
5.2.1.3. Elementos Volátiles	65
5.2.2. Geoquímica de Elementos Mayores	65
5.2.3. Geoquímica de Elementos Menores	80
5.2.3.1. Columna Norte	82
5.2.3.2. Columna Sur	88
5.2.3.3. Columna Huanacamaya	94
5.2.3.4. Columna Yunga	100
5.2.4. Secciones Delgadas	106
5.2.4.1. Secciones Delgadas Columna Norte	106
5.2.4.1.1. Muestra C108315	106
5.2.4.1.2. Muestra C108317	106
5.2.4.1.3. Muestra C108319	107
5.2.4.1.4. Muestra C108321	107
5.2.4.1.5. Muestra C108323	107
5.2.4.1.6. Muestra C108325	108

	<b>Pág.</b>
5.2.4.1.7. Muestra C108329	108
5.2.4.1.8. Muestra C108331	108
5.2.4.1.9. Muestra C108335	109
5.2.4.1.10. Muestra C108337	109
<b>5.2.4.2. Secciones Delgadas Columna Sur</b>	<b>109</b>
5.2.4.2.1. Muestra C108340	109
5.2.4.2.2. Muestra C108342	110
5.2.4.2.3. Muestra C108346	110
5.2.4.2.4. Muestra C108348	110
5.2.4.2.5. Muestra C108350	111
5.2.4.2.6. Muestra de nivel Silicoclástico	111
5.2.4.2.7. Muestra C108354	111
5.2.4.2.8. Muestra C108358	112
5.2.4.2.9. Muestra C108360	112
5.2.4.2.10. Muestra C108364	112
5.2.4.2.11. Muestra C108368	113
5.2.4.2.12. Muestra C108370	113
5.2.4.2.13. Muestra C108372	113
<b>5.2.4.3. Secciones Delgadas Columna Huanacamaya</b>	<b>114</b>
5.2.4.3.1. Muestra C108404	114
5.2.4.3.2. Muestra C108409	114
5.2.4.3.3. Muestra C108411	114
5.2.4.3.4. Muestra C108413	115
5.2.4.3.5. Muestra C108417	115

	<b>Pág.</b>
5.2.4.3.6. Muestra C108419	115
5.2.4.3.7. Muestra C108421	116
5.2.4.3.8. Muestra C108425	116
5.2.4.3.9. Muestra C108426	116
5.2.4.4. Secciones Delgadas Columna Yunga	117
5.2.4.4.1. Muestra C108433	117
5.2.4.4.2. Muestra C108437	117
5.2.4.4.3. Muestra C108439	117
5.2.4.4.4. Muestra C108441	118
5.2.4.4.5. Muestra C108446	118
5.2.4.4.6. Muestra C108450	118
5.2.4.4.7. Muestra C108453	119
5.2.5. Contrastación de la Hipótesis	119
5.2.6. Interpretación de la Información	122
5.2.6.1. Control Sedimentológico de la Mineralización en la Fm. Gramadal en el Yacimiento Canahuire	124
5.2.6.2. Facies favorable para Reacción y Precipitación de Los Fluidos Hidrotermales	133
<b>CONCLUSIONES</b>	136
<b>RECOMENDACIONES</b>	138
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	139
<b>PLANOS</b>	140

**LISTA DE GRÁFICOS**

	<b>Pág.</b>
Gráfico 1.- Grafica de elementos mayores de la columna Norte	70
Gráfico 2.- Grafica de elementos mayores de la columna Sur	73
Gráfico 3.- Grafica de elementos mayores de la columna Huanacamaya	76
Gráfico 4.- Grafica de elementos mayores de la columna Yunga	79

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
Fig. 1.- Clasificación e Folk	14
Fig. 2.- Clasificación de Dunham	17
Fig. 3.- Clasificación de Dunham según ubicación	17
Fig. 4.- Plano de Ubicación	33
Fig. 5.- Columna Estratigráfica	36
Fig. 6.- Principales Indicadores Cinemáticos para determinar el sentido de movimiento de fallas	51
Fig. 7.- Geología Estructural	52
Fig. 8.-Geología Regional y Estructural	53
Fig. 9.- Columna Norte y Sur en ioGAS	61
Fig. 10.- Columna Huanacamaya y Yunga en ioGAS	62

**LISTA DE FOTOGRAFÍAS**

	<b>Pág.</b>
Foto 1.- Grupo Yura y Fm. Hualhuani	39
Foto 2.-Fotografía Bloque Norte y Sur	54
Foto 3.- Foto Bloque Norte	56
Foto 4.- Foto Bloque Sur	56
Foto 5.- Foto Columna Huanacamaya	58
Foto 6.- Foto Columna Yunga	59
Foto 7.- Muestra C108315	106
Foto 8.- Muestra C108317	106
Foto 9.- Muestra C108319	107
Foto 10.- Muestra C108321	107
Foto 11.- Muestra C108323	107
Foto 12.- Muestra C108325	108
Foto 13.- Muestra C108329	108
Foto 14.- Muestra C108331	108
Foto 15.- Muestra C108335	109
Foto 16.- Muestra C108337	109
Foto 17.- Muestra C108340	109
Foto 18.- Muestra C108342	110
Foto 19.- Muestra C108346	110
Foto 20.- Muestra C108348	110
Foto 21.- Muestra C108350	111
Foto 22.- Muestra de Nivel Silicoclástico	111
Foto 23.- Muestra C108354	111

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL  
PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

---

	<b>Pág.</b>
Foto 24.- Muestra C108358	112
Foto 25.- Muestra C108360	112
Foto 26.- Muestra C108364	112
Foto 27.- Muestra C108368	113
Foto 28.- Muestra C108370	113
Foto 29.- Muestra C108372	113
Foto 30.- Muestra C108404	114
Foto 31.- Muestra C108409	114
Foto 32.- Muestra C108411	114
Foto 33.- Muestra C108413	115
Foto 34.- Muestra C108417	115
Foto 35.- Muestra C108419	115
Foto 36.- Muestra C108421	116
Foto 37.- Muestra C108425	116
Foto 38.- Muestra C108426	116
Foto 39.- Muestra C108433	117
Foto 40.- Muestra C108437	117
Foto 41.- Muestra C108439	117
Foto 42.- Muestra C108441	118
Foto 43.- Muestra C108446	118
Foto 44.- Muestra C108450	118
Foto 45.- Muestra C108453	119
Foto 46.- Mineralización Formando Concreciones	125

	<b>Pág.</b>
Foto 47.- Mineralización Pervasiva a partir de Microfracturamiento	126
Foto 48.- Grainstone Bioclástico con mineralización en Bioclastos y Cemento de la Roca	127
Foto 49.- Mineralización en Fracturas de Calizas Mudstones	127
Foto 50.- Taladro CCP10_072	128
Foto 51.- Calizas Mudstones con mineralización emplazada en bioturbación	129
Foto 52.- Mineralización en la bioturbación desarrollada en una arenisca Fina con estructura flaser bedding	129
Foto 53.- Mineralización en la bioturbación desarrollada en una arenisca Fina con estructura flaser bedding	130
Foto 54.- Primer Evento de Mineralización (Siderita – Ankerita)	131
Foto 55.- Segundo Evento de Mineralización Sulfuros Masivos	131
Foto 56.- Muestra de 2 eventos Hidrotermales	132
Foto 57.- Mineralización en Fracturas de Calizas Mudstones y Mineralización pervasiva en calizas Grainstone	132
Foto 58.- Caja de Perforación Diamantina con presencia de muestras con Reemplazamiento de calizas por Siderita.	135

**LISTA DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.- Coordenadas de Ubicación Proyecto Chucapaca	31
Tabla 2.- Accesibilidad al Proyecto	32
Tabla 3.- Elementos Mayores Columna Norte	67
Tabla 4.- Resultados estadísticos de elementos mayores de la columna Norte	68
Tabla 5.- Elementos Mayores Columna Sur	71
Tabla 6.- Resultados estadísticos de elementos mayores de la columna Sur	72
Tabla 7.- Elementos Mayores Columna Huanacamaya	74
Tabla 8.- Resultados estadísticos de elementos mayores de la columna Huanacamaya	75
Tabla 9.- Elementos Mayores Columna Yunga	77
Tabla 10.- Resultados estadísticos de elementos mayores de la columna Yunga	78
Tabla 11.- Elementos Menores Columna Norte	82
Tabla 12.- Resultados estadísticos de elementos menores de la columna Norte	83
Tabla 13.- Tabla de elementos Menores Porcentuales en la Columna Norte	84
Tabla 14.- Resultados estadísticos de elementos menores porcentuales la columna Norte	85
Tabla 15.- Tabla de resultados de Tierras raras de la columna Norte	86

	<b>Pág.</b>
Tabla 16.- Resultados estadísticos de elementos de Tierras Raras de la Columna Norte	87
Tabla 17.- Elementos Menores Columna Sur	88
Tabla 18.- Resultados estadísticos de elementos menores de la columna Sur	89
Tabla 19.- Tabla de elementos Menores Porcentuales de la Columna Sur	90
Tabla 20.- Resultados estadísticos de elementos Menores Porcentuales en la columna Sur	91
Tabla 21.- Tabla de resultados de Tierras raras de la columna Sur	92
Tabla 22.- Resultados estadísticos de elementos de Tierras Raras de la Columna Sur	93
Tabla 23.- Elementos Menores Columna Huanacamaya	94
Tabla 24.- Resultados estadísticos de elementos Menores de la columna Huanacamaya	95
Tabla 25.- Tabla de elementos Menores Porcentuales en la Columna Huanacamaya	96
Tabla 26.- Resultados estadísticos de elementos Menores Porcentuales en la columna Huanacamaya	97
Tabla 27.- Tabla de resultados de Tierras raras de la columna Huanacamaya	98
Tabla 28.- Resultados estadísticos de elementos de Tierras Raras de la Columna Huanacamaya	99
Tabla 29.- Elementos Menores Columna Yunga	100

	<b>Pág.</b>
Tabla 30.- Resultados estadísticos de elementos menores de la columna Yunga	101
Tabla 31.- Tabla de elementos Menores Porcentuales en la Columna Yunga	102
Tabla 32.- Resultados estadísticos de elementos Menores Porcentuales en la columna Yunga	103
Tabla 33.- Tabla de resultados de Tierras raras de la columna Yunga	104
Tabla 34.- Resultados estadísticos de elementos de Tierras Raras de la Columna Yunga	105
Tabla 35.- Microfacies de tipo SMF	122

**LISTA DE PLANOS**

<b>Plano 1.-</b> Columna Norte	P-1
<b>Plano 2.-</b> Columna Sur	P-2
<b>Plano 3.-</b> Columna Huanacamaya	P-3
<b>Plano 4.-</b> Columna Yunga	P-4
<b>Plano 5.-</b> Correlación Columnas Sur – Norte	P-5
<b>Plano 6.-</b> Correlación Columnas Huanacamaya – Yunga	P-6
<b>Plano 7.-</b> Correlación Columnas Norte - Sur – Huanacamaya – Yunga	P-7
<b>Plano 8.-</b> Imagen Satelital Zona de Estudio	P-8
<b>Plano 9.-</b> Plano Topográfico – Hidrológico	P-9
<b>Plano 10.-</b> Plano Geológico	P-10
<b>Plano 11-</b> Plano Estructural	P-11
<b>Plano 12.-</b> Plano de Isovalores	P-12
<b>Plano 12.-</b> Plano Hyper Espectral	P-13

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

#### **1.1.1 Definición del Problema**

Teniendo un nuevo depósito emplazado en rocas sedimentarias, específicamente en rocas carbonatadas pertenecientes al Grupo Yura, nos genera la necesidad de conocer su emplazamiento, así como conocer si existe relación entre la mineralización del depósito con la estratigrafía y geoquímica de esa formación.

#### **1.1.2 Justificación del Problema**

La escases de estudios detallados del Grupo Yura, y en específico de la Formación Gramadal para su interpretación de paleoambientes sedimentarios motiva hacer un estudio detallado de la estratigrafía de la Formación Gramadal y conocer su comportamiento de sedimentación; así conocer si su estratigrafía y geoquímica tiene una relación directa con la mineralización presente en el Proyecto Chucapaca; ubicado en el distrito de Ichuña, Provincia de Sánchez Cerro, Departamento de Moquegua en Perú.

Con esta tesis se determina las principales características y los diferentes procesos que intervinieron en su sedimentación de la Formación Gramadal.

La elaboración de esta tesis permite a la empresa Minera Gold Fields Perú S.A. y a la empresa Canteras del Hallazgo S.A.C. conocer más

sobre la estratigrafía y geoquímica de la Formación Gramadal y orientar sus exploraciones hacia blancos positivos.

### **1.1.3 Formulación del Problema**

¿Qué características estratigráficas y geoquímicas presentan las columnas de la Formación Gramadal en el Proyecto Chucapaca?

### **1.1.4 Delimitación del Estudio**

La investigación abarca la estratigrafía y Geoquímica de la Formación Gramadal, perteneciente al Grupo Yura, la cual aflora en el sur del Perú, en los alrededores del proyecto Chucapaca, ubicado en el distrito de Ichuña, Provincia de Sanchez Cerro, Departamento de Moquegua en Perú.

## **1.2 Objetivos de la Investigación**

### **1.2.1 General**

- Elaborar columnas estratigráficas detalladas de la formación Gramadal para analizar sus características de sedimentación y estructura Geoquímica.

### **1.2.2 Específico**

- Realizar la comparación de columnas estratigráficas, para analizar el comportamiento de la cuenca.
- Determinar el ambiente sedimentario al que corresponde la Formación Gramadal.

- Determinar los factores principales que influyeron en la mineralización del depósito Canahuire.
- Identificar las diferentes litologías presentes dentro de la formación Gramadal mediante estudios petrográficos con secciones delgadas.
- Analizar e Interpretar los resultados geoquímicos de las muestras.
- Determinar los eventos mineralizantes que están presentes en el depósito Canahuire.

### **1.3 Formulación de Hipótesis**

La elaboración de las columnas estratigráficas de la Formación Gramadal, permitirá determinar que existe una relación directa entre las secuencias litológicas, características de sedimentación, y estructura geoquímica con la mineralización del depósito Canahuire.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

En la zona de estudio no se ha realizado la elaboración de columnas estratigráficas detalladas, puesto que sólo se encuentran cartografiados regionales para la identificación de las formaciones y litologías presentes en la zona de estudio. En cuanto a trabajos anteriores podemos mencionar:

- ***Textural, Chemical and Isotopic Variations Induced by Hydrothermal Fluids on Mesozoic Limestones in Northwestern Sicily (Bellaca, Censi, Di Salvo y Neri; 1984):*** Se determinó la influencia de las calizas y su textura en la mineralización por fluidos hidrotermales, existiendo diversos niveles de alteración en las calizas dependiendo esto de su textura original, las calizas mas alteradas son las de textura de grano soportado (Grainstone y Packstone); se determino como otro factor influyente en la mineralizacion el cambio de Ph de los fluidos hidrotermales ocasionado por el contacto con las calizas.
- **Tesis: Domos, Diatremas y Piroclástos del Complejo Volcánico Chucapaca, evidencias auríferas de sistemas Epitermales (Remigio Fernando - 2011):** Se logró determinar los diferentes eventos volcánicos presentes alrededor del proyecto Chucapaca, principalmente los diferentes eventos de intrusión de domos los cuales están controlados por fallas regionales andinas, y ubicando todos los eventos volcánicos dentro de la columna estratigráfica; determinando que el complejo volcánico Chucapaca pertenece al vulcanismo Sillapaca.

La actividad magmática interactúa con las condiciones superficiales (agua freática, agua connata) generando sistemas hidrotermales cerca de superficie, es decir un ambiente epitermal. Las alteraciones vuggy sílica, argílica avanzada, argílica y oxidación son típicas de un ambiente de alta sulfuración (HS), presentando geoquímica asociada con las alteraciones hidrotermales y valores de Au-Cu en la zona central y Ag-Pb-Zn en un ambiente distal a los focos.

- ***Chucapaca Regional Geology (Morche & Santos, 2009).***- Se realizó un cartografiado regional, determinando las estructuras principales ubicadas e identificar los eventos tectónicos que influenciaron en la zona de estudio así como la elaboración de una columna estratigráfica detallada de la zona.
  
- ***Geología de la cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca – Sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur). Carta Geológica Nacional. Boletín N° 42 (Palacios O. et al - 1993).***- Nos brinda una idea regional de la estratigrafía del Sur del Perú, además de poder analizar las estructuras principales predominantes en la zona y eventos tectónicos que influyeron en la formación del altiplano.
  
- ***La sedimentación Neocomiana (Jurásico Terminal – Aptiano) en el sur del Perú (Batty Marurizio - 1989).***- Este estudio nos definen tres ciclos sedimentarios principales presentes en la zona además se diferencian tres cuencas principales presentes: la cuenca de Arequipa, la cuenca del

Altiplano y la cuenca de Putina, realizando su respectiva correlación e interpretación.

- ***Antecedentes Sedimentológicos del Jurásico – Cretácico inferior en la Zona de Yura (Leon Chirinos Isabel, 1980).***- Nos muestra un estudio detallado del Grupo Yura en la misma zona de Yura en Arequipa, analizando sus ciclos sedimentarios y los paleoambientes presentes en cada una de las formaciones.
  
- ***Geología del Cuadrángulo de Ichuña. Carta Geológica Nacional. Boletín N°14 (Morocco Rene y Del Pinto Mario - 1966).***- Nos muestra un mapeo regional del cuadrángulo 33-U dando una idea inicial de las estructuras principales presentes así como las unidades litoestratigráficas presentes en la zona.

## **2.2 Definición de Términos Básicos**

### **2.2.1 Rocas Carbonatadas**

Las rocas carbonatadas son aquellas formadas por la litificación de sedimentos ricos en carbonatos (>80%), los cuales han sido depositados a partir de la precipitación química dentro de una solución acuosa. (Moore C.H.; 1997)

#### **2.2.1.1 Origen:**

Las rocas carbonatadas pueden tener tanto origen detrítico como autóctono, los cuales son descritos a continuación.

**2.2.1.1.1 Rocas Carbonatadas Detríticas:** formadas por fragmentos procedentes de la erosión de rocas carbonatadas preexistentes. (Moore C.H.; 1997)

**2.2.1.1.2 Rocas Carbonatadas Autóctonas o in situ:** Estas rocas, son producto de procesos biológicos e inorgánicos. Los principales componentes de las rocas carbonatadas se pueden dividir en dos grandes grupos: ortoquímicos y aloquímicos. (Moore C.H.; 1997)

**2.2.1.1.2.1 Componentes Ortoquímicos:** son producto de la precipitación química directa en el agua, ya sea marina o meteórica, al momento de la sedimentación o durante de la diagénesis. Los principales productos ortoquímicos son la matriz y el cementante, constituidos por calcita microcristalina o micrita y calcita espárica o esparita. Los principales minerales carbonatados son aragonito, calcita y dolomita. (Moore C.H.; 1997)

- **Matriz:** se define como la parte de la roca en donde todos los sedimentos aloquímicos y terrígenos se encuentran contenidos o el material de grano fino de una roca y está constituida principalmente de micrita. (Moore C.H.; 1997)

- **Micrita:** Es calcita microcristalina menores de 5 micras de diámetro y constituye la matriz de grano fino en rocas carbonatadas. (Moore C.H.; 1997)
- **Esparita:** Caracterizada por cristales de calcita, generalmente mayores de 10 micras y colores claro o traslúcido. Originada como cemento, relleno de poros (ortoesparita). (Moore C.H.; 1997)
- **Cemento:** Material químicamente precipitado que rellena poros situados entre los sedimentos y constituido principalmente de calcita espática.

**2.2.1.1.2.2 Componentes Aloquímicos:** Son todas aquellas partículas formadas dentro de la cuenca de sedimentación, pero que no son producto de la precipitación química en el agua, sino que son principalmente, fragmentos de organismos que vivieron durante la sedimentación o partículas producidas mecánicamente (Moore C.H.; 1997).

*r*  
Los aloquímicos se agrupan en:

- Componentes biogénicos o esqueléticos, que son productos de la fragmentación de macro o microorganismos, por ejemplo, fragmentos de

moluscos, ostrácodos, algas y foraminíferos. (Moore C.H.; 1997)

- No biogénicos o no esqueléticos, originados ya sea por la abrasión mecánica del sedimento o producidos durante la sedimentación por procesos físicos y/o químicos, por ejemplo: intraclastos, pseudopeloides y ooides. (Moore C.H.; 1997)

### **2.3 Rocas Carbonatadas**

Los avances recientes en petrografía y geoquímica de rocas carbonatadas han demostrado la importancia de los procesos y ambientes diagenéticos que afectan a los carbonatos después de su sedimentación. (Maurice E. Tucker y V. Paul Wright. 2008)

Los sedimentos carbonatados sufren cambios, físicos y químicos, inmediatamente después de depositarse y durante su sepultamiento gradual, ya que pasan a través de varios ambientes diagenéticos, que pueden incluir desde disolución completa del sedimento hasta su cementación y litificación. (Maurice E. Tucker y V. Paul Wright. 2008)

El estudio petrográfico de rocas carbonatadas incluye entonces la identificación y caracterización de todo aquello observable bajo el microscopio, por lo que es de suma importancia identificar todas aquellas

partículas presentes en la matriz o el cementante. (Maurice E. Tucker y V. Paul Wright. 2008)

### **2.3.1 Diagénesis de Carbonatos**

Más del 90% de sedimentos de carbonatos encontrados en ambientes modernos ~~tienen~~ origen biológico y fueron formados bajo condiciones marinas (Milliman, 1974; Wilson, 1975; Sellwood, 1978).

La distribución de sedimentos de carbonatos están directamente controlados por parámetros ambientales favorables para el crecimiento de organismos de carbonato de calcio. Los parámetros incluyen temperatura, salinidad, sustrato y la presencia de siliclastos. (Less, 1975)

Los sedimentos de carbonatos son generalmente depositados cerca del lugar de su origen. En contraste, los sedimentos siliclásticos son formados fuera de la cuenca de deposición, y son transportados a otra cuenca, donde los procesos físicos controlan su distribución. El Carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) es el principal componente de las calizas, las cuales por están compuestas principalmente por carbonato de calcio y sedimentos, que eventualmente se solidifican para formarlas y son nombradas como rocas calcáreas. Las rocas sedimentarias calcáreas pueden estar compuestas por carbonatos y otros elementos como magnesio y fierro. (Maurice E. Tucker y V. Paul Wright. 2008)

### **2.3.2 Clasificación de Rocas Carbonatadas**

La clasificación de carbonatos no esta tan extendida como la clasificación de areniscas. Sin embargo aproximadamente 20 clasificaciones han aparecido en publicaciones desde 1960. (Scholle Peter A. y Ulmer-Scholle Dana S.; 2003)

Las publicaciones en 1959 y 1962 de Folk son una clasificación bastante descriptiva que marca el inicio de la clasificación moderna de calizas. La clasificación de Folk está basada en la abundancia relativa de tres constituyentes: granos de carbonato, lodo calcáreo (micrita) y láminas de calcita en el cemento. (Scholle Peter A. y Ulmer-Scholle Dana S.; 2003)

En el mismo libro en el cual Folk hace su publicación en 1962, Dunham (1962) publica una clasificación basada en las texturas deposicionales basada en 2 condiciones fundamentales: (1) en los paquetes de granos y la abundancia de granos de carbonatos relacionados con la micrita; (2) y la relación de granos en la deposición. (Scholle Peter A. y Ulmer-Scholle Dana S.; 2003)

#### **2.3.2.1 Clasificación de Folk**

Folk establece una clasificación de calizas teniendo en cuenta las proporciones relativas de los tres constituyentes básicos: granos (aloquímicos), matriz micrítica y cemento esparítico (ortoquímicos). Diferencia tres tipos básicos de calizas: aloquímicas (con >10% de granos), micríticas (con <10% de granos) y biolititas (Caliza formada

por organismos que crecen y permanecen en el lugar para construir un caparazón rígido de material carbonático que incluye granos aloquímicos y elementos esqueléticos, también conocida como roca organógena.). Dentro de las calizas aloquímicas se distingue entre: calizas esparíticas (espacio intergranular ocupado por esparita) y calizas micríticas (espacio intergranular ocupado por micrita). Una de las limitaciones de esta clasificación es que no se puede aplicar a sedimentos. (Boggs Jr. Sam, 2006)

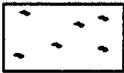
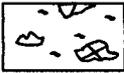
La clasificación de Folk es aplicable primero al análisis en sección delgada. Esta no es una clasificación fácil de usar en campo. El uso de la clasificación requiere un conocimiento elevado de los tipos y abundancia de los granos de carbonato y la abundancia relativa de micrita y láminas de calcita en el cemento. La clasificación es jerárquica y requiere que se avance a través de un número definido de pasos. (Boggs Jr. Sam, 2006)

La clasificación de carbonatos de Folk es una clasificación trabajable y es ampliamente usada, sin embargo esta tiene algunos problemas. Por un lado, la clasificación original no tiene lugar para los oncolitos, los cuales son abundantes en algunos tipos de calizas. Tampoco incluye extraclastos en la clasificación. Por la dificultad frecuente presentada en diferenciar extraclastos de intraclastos, la mayoría de personas los puede confundir y englobarlos todos en los intraclastos. Así el termino intraclasto puede resultar engañoso; igualmente no

hay un campo especial para para diferenciar granos y grumos.  
(Boggs Jr. Sam, 2006)

Finalmente Folk usa el cemento de las láminas de calcita como un parámetro de clasificación saliendo de lo práctico de muchos otros clasificadores, quienes no usan minerales autogénicos en la clasificación. La dificultad en diferenciar láminas de calcita recristalizada y láminas de calcita cementada hace que el uso de láminas de calcita cementada en la clasificación un problema particular. (Boggs Jr. Sam, 2006)

Para superar algunos de esos problemas, Strohmenger y Wirsing (1991) propusieron una modificación de la clasificación de Folk, el término "Pellet" es reemplazo por uno término más general "peloide", y el término Oncoides es introducido como el quinto tipo de aloquímicos. La introducción de estos parámetros requirió algunos cambios en las proporciones volumétricas aloquímicas: 25% fue cambiado a 20% (o 40% en el caso de fósiles / peloides). Ellos también propusieron llamar a una roca con  $\geq 20\%$  de extraclastos como extramicrita o como extraparita dependiendo del tamaño de los componentes y del radio de micrita / esparita. (Boggs Jr. Sam, 2006)

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

[MATRIZ = MICRITA; CEMENTO = ESPARITA]

Fig. 1.- Clasificación de Folk (1962)

### 2.3.2.2 Clasificación de Dunham

Dunham (1962) tomo un enfoque diferente de clasificación, enfocándose a las texturas deposicionales de las calizas más que en identificar los tipos específicos de granos de carbonatos. El considera dos aspectos de textura:

- El relleno de granos y la abundancia relativa de granos y micrita.
- Vínculos deposicionales de los granos

Para usar esta clasificación se debe primero determinar si los constituyentes originales de la caliza estuvieron o no estuvieron unidos al momento de la deposición. Para rocas compuestas por componentes no vinculados durante la deposición (componentes depositados como granos disgregados o cristales) las rocas son

además divididas entre aquellos que contienen lodo calcáreo (micrita) y aquellos que presentan la ausencia de lodo. Para determinar el tipo de fábrica soportada puede ser un problema, y la fábrica puede ser visualizada en una vista en tres dimensiones, y este simple hecho aparece en un plano de sección delgada. (Boggs Jr. Sam, 2006)

Calizas con lodo soportado son **Mudstones** (lodolitas calcáreas) si las rocas contienen menos del 10% de granos de carbonatos y **Wackestone** si contiene más del 10% de granos. Calizas con grano soportado que contienen un poco de lodo micrítico en la matriz son **Packstones**. Calizas de grano soportado con ausencia de lodo en la matriz son **Grainstone**. (Tucker Maurice E. y Wright V. Paul, 2008)

Para Dunham hay 3 clasificaciones de las calizas:

- **Matriz Soportada:** Son las calizas de tipo Mudstone y Wackestone.
- **Grano Soportado:** Son las calizas de tipo Packstone y Grainstone.
- **Biológico:** Son las calizas Boundstone.

Dunham usa el término **Boundstone** para calizas compuestas por componentes enlazados en el momento de la depositación. (Tucker Maurice E. y Wright V. Paul, 2008)

Para Dunham la clasificación de calizas es muy especial por lo cual se debe tener mucho cuidado al darles un nombre de clasificación. Por ejemplo la caliza tipo Packstone es especial ya que si es grano soportada, pero como se introduce el lodo; muchas veces la micrita precipita dentro de los poros intergranulares, ese lodo calcáreo ha sufrido mucha compactación producto de la deshidratación.; en esas ocasiones muchos sedimentos depositados como Wackestone pasan a convertirse en Packstone. (Tucker Maurice E. y Wright V. Paul, 2008)

Durante la disolución por presión muchos granos no cementados pasan a convertirse en nuevos por un proceso de ser soldados juntos para pasar a formar nuevas fábricas equipadas y compactadas, las cuales son carentes de cemento y son comúnmente clasificadas como Packstone a pesar de que carecen de matriz. (Tucker Maurice E. y Wright V. Paul, 2008)

Los sedimentólogos de carbonatos han empezado a apreciar cuan susceptibles son los sedimentos carbonatados y calizas por la diagénesis. Procesos como compactación y disolución por presión pueden alterar radicalmente la fábrica de la roca inicial. (Tucker Maurice E. y Wright V. Paul, 2008)

TEXTURA DEPOSICIONAL VISIBLE				ESQUELETOS EN POSICIÓN DE VIDA	TEXTURA DEPOSIC. NO VISIBLE
COMPONENTES + ó - TRANSPORTADOS					
SOPORTE DE MATRIZ (>15% LODO)		SOPORTE DE GRANOS			
		<15% LODO	SIN LODO		
MATRIZ ↑ ± GRANOS (<10%)	MATRIZ ↑ + GRANOS (>10%)	GRANOS ↑ + MATRIZ	GRANOS ↑ + CEMENTO		
					
<b>MUD-STONE</b>	<b>WACKE-STONE</b>	<b>PACK-STONE</b>	<b>GRAIN-STONE</b>	<b>BOUND-STONE</b>	<b>CARB. CRISTA-LINOS</b>

(Lodo= Lodo carbonatado= matriz= micrita)  
(Cemento carbonatado= esparita)

Fig. 2.- Clasificación de Dunham (1962)

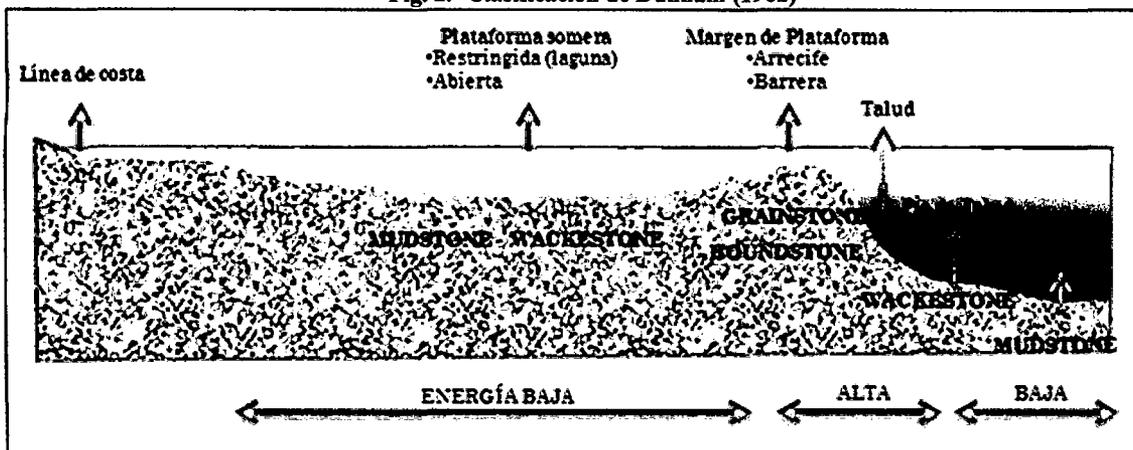


Fig. 3.- Clasificación de Dunham según su ubicación

### 2.3.3 Microfacies de Carbonatos

Las microfacies nos ayudan a poder identificar y recrear el ambiente de sedimentación en el cual se han originado las calizas, la clasificación de microfacies está basada en la SMF (Standar Micro Facies – Micro Facies Estándar) la cual nos explica los diferentes ambientes identificados de sedimentación presentes hasta la fecha se han logrado identificar 24 microfacies. (Tucker Maurice E. y Wright V. Paul, 2008)

### **2.3.4 Controles Mayores en Sedimentación de Carbonatos**

Aunque hay muchos factores los cuales determinan la naturaleza de formación de los carbonatos hay 2 controles primordiales en la sedimentación de carbonatos.

- Geotectónica
- Climático, y estos juntos controlar a la otra variable importante, el nivel del mar.

El contexto geotectónico es de suprema importancia; ya que este controla uno de los principales requisitos para la sedimentación de carbonatos, la cual es la carencia de material Silicoclástico, determinando los controles topográficos y edad de drenaje de los ríos. (Tucker Maurice E. y Wright V. Paul, 2008)

Aparte de una simple disolución de componentes de carbonatos de un sedimento, materiales terrígenos también tienen un efecto perjudicial en la producción de carbonatos, particularmente donde los arrecifes de coral están concentrados. (Tucker Maurice E. y Wright V. Paul, 2008)

### **2.3.5 Mineralogía de Carbonatos**

#### **2.3.5.1 Calcita:**

El mineral más común y familiar es la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Como mineral puro es incoloro o blanco. Algunas veces la calcita existe como un simple mineral, este comúnmente tiene un origen biogénico, el cual es formado como una parte de una planta o un animal. Un

amplio grupo de organismos usa el carbonato de calcio para formar estructuras esqueléticas y caparazones y muchos de los sedimentos calcáreos y rocas son formadas por materiales obtenidos por esta forma. (Morse John W. y Mackenzie Fred T.; 1990)

Iones de magnesio pueden sustituir a iones de calcio en la estructura del cristal de calcita, y dos formas de calcita son reconocidas en la naturaleza: calcita con bajo magnesio, la cual contiene menos que 4% de Mg. Y también tenemos calcita con alto magnesio, la cual típicamente contiene entre 11% y 19% de Mg. (Morse John W. y Mackenzie Fred T.; 1990)

Gran parte de organismos marinos están compuestos de calcita con alto magnesio, por ejemplo equinodermos, foraminíferos, entre otros. El estroncio también puede sustituir al calcio en la estructura del cristal pero en pequeñas cantidades (menores a 1%) esto es importante ya que isótopos de estroncio pueden ser usados para dataciones de rocas. (Morse John W. y Mackenzie Fred T.; 1990)

#### **2.3.5.2 Aragonito**

Entre el aragonito y la calcita no existe diferencias químicas, pero ambos minerales difieren en la forma de los minerales: mientras que la calcita tiene cristales de forma trigonal, el aragonito tiene cristales de forma ortorrómbica. Muchos invertebrados usan el aragonito para

construir sus partes duras incluidos bivalvos y corales. (Morse John W. y Mackenzie Fred T.; 1990)

#### **2.3.5.3 Dolomita**

Carbonato de magnesio y calcio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) es un mineral común en la formación de rocas conocido como Dolomita. Confusamente una roca asume el nombre de este mineral y también es llamada Dolomita, y el término Dolomía es ahora usado en litología para distinguirlo de la Dolomita. (Morse John W. y Mackenzie Fred T.; 1990)

El mineral es similar en apariencia a la calcita y aragonito con una dureza similar. El camino para poder distinguirla es usando HCl frío, la reacción es muy baja o nula, esto se debe a que no es largamente distribuida en la actualidad. (Morse John W. y Mackenzie Fred T.; 1990)

#### **2.3.5.4 Siderita**

Es un carbonato de Hierro ( $\text{FeCO}_3$ ) con la misma estructura de calcita, es muy difícil de diferenciar entre hierro y carbonatos de calcio en grupos mineralógicos. Es raramente puro, frecuentemente contiene algo de magnesio o manganeso sustituyendo al fierro en el cristal. (Morse John W. y Mackenzie Fred T.; 1990)

## CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1 Metodología

La metodología empleada en esta tesis es la investigación científica, ya que se sigue una serie de pasos que nos conducen a la búsqueda de conocimientos mediante la aplicación de métodos y técnicas. Para lo cual nos basamos en lo siguiente:

- **Investigación Exploratoria:** Este tipo de investigación se realiza especialmente cuando el tema elegido ha sido poco explorado y reconocido. Suele surgir cuando aparece un nuevo fenómeno, que no admite una descripción sistemática. Siendo el tema elegido la mineralización en rocas carbonatadas, el cual es un nuevo modelo de emplazamiento de depósitos minerales.
- **Investigación Descriptiva:** Este tipo de investigación radica en describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. Teniendo como conjuntos homogéneos a las cuatro columnas de la Formación Gramadal.

#### 3.1.1 Procedimiento y Técnicas para la recolección de Datos

Los procedimientos seguidos para la elaboración de esta tesis fueron:

**A. Fase Preliminar de Gabinete:** Esta fase consistió en la recopilación de información de la zona del estudio, así como bibliográfica sobre

sedimentología, estratigrafía e información sobre rocas carbonatadas y sus características principales.

**B. Fase de Toma de datos en Campo:** Esta fase además de identificar las zonas más propicias y representativas para hacer el levantamiento de las columnas consistió en salidas al campo para el levantamiento de las columnas estratigráficas, recolección de muestras para laboratorio, reconocimiento estructural de la zona para verificar si las columnas se encuentran completas o están modificadas por alguna estructura.

**C. Fase de Análisis de la Información e Interpretación:** En el análisis de los datos de campo, primeramente fueron colocados en columnas a escala en papel milimetrado para poder hacer el análisis de sus detalles, luego todos los datos de las columnas fueron digitalizadas en AutoCAD 2012. Los resultados de laboratorio fueron trabajados usando el software ioGas para análisis geoquímico.

En cuanto a la interpretación se correlacionaron todos los datos y se analizó el comportamiento de la cuenca como las diferencias geoquímicas de las columnas levantadas cerca de Canahuire y las columnas ubicadas en la Pampa Chucapaca.

**D. Fase Final de Gabinete:** En la cual se realizó la sistematización de la información y redacción del informe final.

### **3.1.2 Técnicas de procesamiento y Análisis de Datos**

Las muestras recolectadas de campo fueron ubicadas en la columna levantada previamente para así poder recolectar muestras en el mismo nivel estratigráfico de cada columna y realizar la comparación de resultados de laboratorio además ver las posibles variaciones presentes.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio para hacer un análisis de ROCA TOTAL, el cual involucra analizar elementos mayores, elementos traza y volátiles. Las muestras fueron procesadas con los siguientes análisis para obtener los resultados fueron los siguientes:

- ME – XRF06
- ME – MS81
- ME – MS41L
- C – GAS05
- C – IR07
- S – IR08

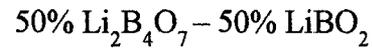
Cada análisis sirve para obtener un resultado específico de la roca y el modo de preparación de la muestra para cada análisis es diferente.

#### **3.1.2.1 Detalle de cada método de Análisis:**

##### **3.1.2.1.1 ME – XRF06**

###### **3.1.2.1.1.1 Descomposición de la Muestra**

La descomposición de la muestra se realiza con una combinación de:



**3.1.2.1.1.2 Método de Análisis**

El método es Fluorescencia de Rayos X por espectroscopia (XRF por sus siglas en ingles). El método para análisis consiste en que una muestra calcinada (0.9 gr.) es agregada a 9.0 gr. de un flujo de Borato de Litio (50%  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  – 50%  $\text{LiBO}_2$ ), bien mezclado y fusionados en un fundente a una temperatura entre 1050 –1100°C. Un molde de vidrio es preparado para contener la muestra resultante. Este disco resultante es analizado por Fluorescencia de Rayos X por Espectroscopia.

**3.1.2.1.2 ME – MS81**

**3.1.2.1.2.1 Descomposición de la Muestra**

La descomposición de la muestra se realiza usando la Fusión de Litio Metaborato.

**3.1.2.1.2.2 Método de Análisis**

El análisis se realiza con el método denominado “Plasma de acoplamiento inductivo - Espectroscopia de Masas (ICP – MS por sus siglas en inglés)”

Una muestra preparada de 0.20 gr es agregada a 0.90 gr. de un flujo de metaborato de litio, bien mezclado y

fusionado en un horno a 1000 ° C. El resultado del fundido es colado y disuelto en 100 ml de una solución al 4% de HNO<sub>3</sub> / 2 % HCL. Esta solución es analizada por Plasma de acoplamiento inductivo - Espectroscopia de Masas.

La fusión de Metaborato de Litio no es un método recomendable para la determinación de metales base. Algunos sulfuros y algunos óxidos de metales son solo parcialmente descompuestos por la fusión de borato y algunos elementos como el Cadmio y Zinc pueden ser Volatizados.

Los metales base se pueden presentar con ME-MS81 con cualquiera de los dos métodos de digestión en Agua Regia (ME-AQ81) o por cuatro digestiones ácidas (ME – 4ACD81). El método de 4 digestiones ácidas es preferido cuando la muestra incluye mineralización resistiva como mineralización asociada a níquel y cobalto.

### **3.1.2.1.3 ME – MS41L**

#### **3.1.2.1.3.1 Descomposición de la Muestra**

La descomposición de la muestra se obtiene usando Digestión en Agua Regia.

#### **3.1.2.1.3.2 Método de Análisis**

Este método se sub divide en dos sub métodos:

- Plasma de acoplamiento inductivo -  
espectrometría de emisión atómica (ICP-AES por  
sus siglas en inglés)
- Plasma de acoplamiento inductivo -  
Espectrometría de Masas (ICP-MS por sus siglas  
en inglés)

Una muestra preparada de 0.5 gr es digerida en Agua Regia por al menos una hora en un bloque de calentamiento grafito. Después de su enfriamiento, la solución resultante es diluida en 12.5 ml de agua destilada, la solución es mezclada y analizada por Plasma de Acoplamiento Inductivo – Espectrometría de emisión atómica, para los elementos mayores.

Luego del análisis, los resultados son revisados para identificar altas concentraciones de bismuto, mercurio, molibdeno, plata y tungsteno.

Luego los elementos son analizados por ICP-MS para los elementos restantes. Los resultados del análisis son corregidos por interferencias inter espectrales de elementos.

#### **3.1.2.1.4 C – GAS05**

Este método sirve para identificar el carbón inorgánico (CO<sub>2</sub>).

El análisis se realiza con una muestra de 0.2 gr, la cual se lixivia con ácido clorhídrico diluido. El dióxido de carbono se libera y canaliza en una bureta de medición por una corriente de oxígeno. El volumen de los 2 gases es medido. Los gases luego son pasados por una solución de Hidróxido de Potasio la cual disuelve el dióxido de carbono. El oxígeno es regresado hacia la bureta y su volumen es medido nuevamente. La diferencia en volumen, corregida con la temperatura y la presión atmosférica, es proporcional al porcentaje de carbón inorgánico en la muestra.

#### **3.1.2.1.5 C-IR07**

Este método sirve para identificar el Carbón total en la muestra.

La muestra es analizada para identificar el Carbón total presente en la muestra usando el Analizador Leco. Mientras que una corriente de oxígeno pasa a través de una muestra preparada (0.05 a 0.6 gr), se calienta en un horno a aproximadamente 1350 °C. El dióxido de carbono liberado de la muestra es medido mediante un sistema de detección de infrarrojos y el resultado de carbono total es proporcional.

#### **3.1.2.1.6 S-IR08**

Este método sirve para identificar el Sulfuro Total en la muestra.

La muestra es analizada para identificar el Azufre total usando el analizador Leco Azufre. La muestra preparada (0.5 a 5.0 gr) se calienta a aproximadamente 1350 °C en un horno de inducción al pasar una corriente de oxígeno a través de la muestra. El dióxido de Azufre liberado de la muestra se mide mediante un sistema de detección de Infrarrojos y el resultado de azufre es proporcional.

#### **3.1.3 Control de calidad de los Datos**

Como control de calidad de los resultados se envió también a analizar muestras de control como son muestras de blancos y muestras duplicados para poder así corroborar los datos de laboratorio. Estos controles son adicionales a los controles del laboratorio, ya que ellos también insertan muestras de blancos y duplicados para poder corroborar sus datos.

Otro control de calidad que se tuvo es que al momento de recolectar la muestra se realizaba una limpieza de las rocas para evitar colocar óxidos o algún otro contaminante y solo se realice el análisis de roca fresca.

Además el laboratorio donde se realizaron los análisis de las muestras es un laboratorio certificado y cumple con todas las normas de calidad (ISO 9001).

### **3.2 Materiales**

Los materiales que se emplearon para el estudio fueron: Picota, Lápiz de Dureza, Lupa de 20x, ácido clorhídrico al 10%, GPS, libreta de campo, plano geológico regional del INGEMMET a escala 1:100 000 del cuadrángulo de Ichuña (33-u), mapas de campo producto del mapeo local a escala 1:10 000 y 1:5 000, papel milimetrado, lápices de colores, bolsas de muestreo y talonarios de muestreo.

Para el procesamiento de la información se utilizó diversos softwares de ingeniería de uso comercial para el análisis e interpretación, los principales fueron:

**3.2.1 AutoCAD 2012:** El cual fue utilizado para la digitalización de las columnas estratigráficas y posterior interpretación de la cuenca permitiéndonos correlacionar las columnas en base a la presencia de estratos guía.

**3.2.2 ARCGIS 10:** En este software se han realizado todos los planos de este trabajo de investigación, el cual nos brinda la posibilidad de poder trabajar con bases de datos para facilitar el manejo de toda la

información de mapeos y ubicación de los puntos de muestreo con sus respectivas bases de datos.

**3.2.3 ioGAS 4.5:** Software especializado en el análisis de datos geoquímicos, se utilizó para interpretación de resultados de las muestras enviadas al laboratorio, ya que este software nos permitió poder trabajar con toda la data geoquímica y así poder hacer el análisis geoquímico de las calizas. Así como poder realizar gráficas geoquímicas de las rocas.

## CAPITULO IV: PROYECTO CHUCAPACA

### 4.1 Ubicación y Accesibilidad

#### 4.1.1 Ubicación

**4.1.1.1 Políticamente:** El Proyecto Chucapaca, se encuentra ubicado en el distrito de Ichuña, provincia General Sánchez Cerro, Departamento de Moquegua.

**4.1.1.2 Geográficamente:** El área del Proyecto se encuentra ubicado en la sierra sur del Perú, entre los cerros Canllamoco al Norte, el cerro Chatocunca al Este, la pampa Chucapaca al Sur y el cerro Machoyuc al Oeste y a 9 km. al sur del poblado de Ichuña. Las coordenadas principales del Proyecto son:

Vértice	Coordenadas UTM (WGS 84)	
	Norte	Este
1	8210000	338000
2	8200000	338000
3	8200000	328000
4	8210000	328000

Tabla. 1.- Coordenadas de Ubicación Proyecto Chucapaca

#### 4.1.2 Accesibilidad

El área del Proyecto es accesible por carretera a través de la ruta: Puno-Titire – Chucapaca con 147 Km (3:30 horas). Otra vía alterna es la ruta Moquegua – Titire – Chucapaca con 197 Km (4:50 horas).

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL  
PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

---

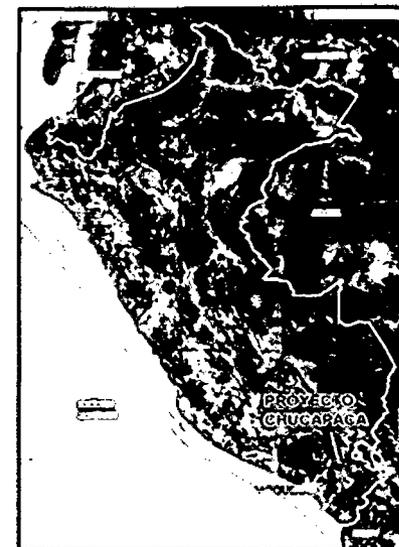
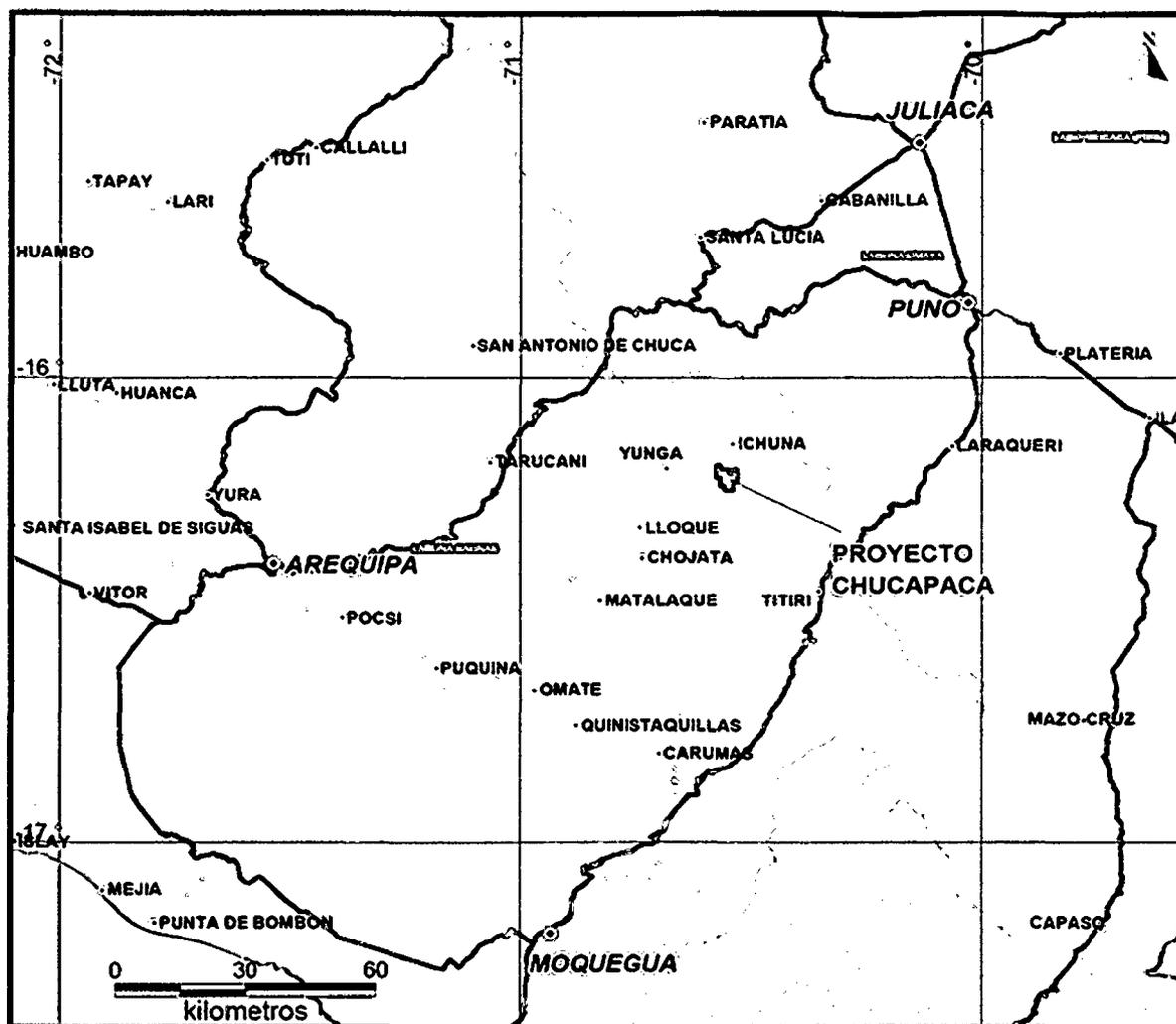
Desde la ciudad de Puno se toma la carretera Puno – Moquegua hasta el pequeño municipio de Titire por una carretera asfaltada de aproximadamente 105 Km. al suroeste de Puno, luego se toma la variante noroeste a los distritos de Ichuña y Lloque por una trocha carrozable, desde Titire al Proyecto dura aproximadamente 1:50 horas (Ver Figura N°4).

<b>Trayecto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Tipo de Acceso</b>
Lima – Juliaca – Puno	1 317 Km.	Vía Terrestre
Puno – Titire	105 Km.	Asfaltado
Titire – Chucapaca	42 Km.	Trocha carrozable
<b>Total</b>	<b>1 464 Km.</b>	

Tabla N. ° 2: Accesibilidad al Proyecto

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental Semi Detallado por Knighd Piésold Consulting, 2010.

“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”



Distancias	Km
Puno-Titire	: 105
CCP-Titire	: 46
CCP-Ichuña	: 25
CCP-Moquegua	: 197
CCP-Arequipa	: 250

Figura 4.- Plano de Ubicación, la zona de estudio se encuentra al Norte del departamento de Moquegua, provincia Sánchez Cerro, distrito de Ichuña.

## 4.2 Geología Local y Regional

El proyecto Chucapaca está situado aproximadamente a 6.5 Km al SSW del distrito de Ichuña. El depósito está alojado dentro de Rocas Sedimentarias Mesozoicas deformadas del Grupo Yura, el cual ha sido intruido por domos riolíticos de edad Mioceno, los cuales, probablemente están relacionados genéticamente a la mineralización. En orden y para entender los controles de la mineralización asociadas al vulcanismo, es necesario considerar primero la geología Regional y el contexto estructural (Morche & Santos. 2009).

Para la descripción de la geología regional se toma como fuente el INGEMMET, y particularmente el trabajo realizado bajo la cooperación técnica con el Servicio Geológico Británico de los 80s (Klink et al, 1986 & Ellison et al. 1990), como también un mapeo reciente realizado por Minera Gold Fields Perú S.A. en la región de Ichuña (Morche & Santos, 2009). La nomenclatura estratigráfica para la región es compleja y en algunos casos confusos, con muchas unidades estratigráficas las cuales fueron nombradas por trabajos previos. (Remigio Fernando, 2012).

### 4.2.1 Estratigrafía Regional

Los afloramientos de rocas más antiguas en la zona son unidades silíceas y calcáreas, pertenecientes al Jurásico (Grupo Yura) y del Cretáceo inferior (Formación Hualhuani y Formación Murco). Estas

unidades fueron fuertemente deformadas durante la orogenia peruana (~80 Ma.) y forma un basamento en el cual los sedimentos Cenozoicos inferiores y coberturas de secuencias volcánicas fueron acumuladas. Dentro de la sucesión volcánicas hay un contraste de unidades estratigráficas, las cuales están separadas por fases estructurales claras, relacionadas a eventos tectónicos. (Morche & Santos, 2009).

La sucesión empieza con una gruesa capa de sedimentos clásticos continentales de capas rojas pertenecientes al grupo Puno, que sobreyacen con una disconformidad a las rocas mesozoicas deformadas. También existe una discontinuidad que sobrepone entre las lavas básicas e intermedias y brechas del grupo Tacaza, las cuales están distribuidas extensionalmente y representan las rocas ígneas del sur del Perú. (Morche & Santos, 2009)

Las lavas del Grupo Tacaza son a su vez discordantes con los sedimentos lacustres del Grupo Maure, los cuales contienen un significativo componente vulcanoclástico. El vulcanismo extendido del Grupo Sillapaca ocurre contemporáneamente con la sedimentación lacustre del Grupo Maure. (Remigio Fernando, 2012)

El grupo Sillapaca incluye intercalaciones de lavas intermedias en la parte superior de los sedimentos del Grupo Maure y el desarrollo local de domos volcánicos félsicos. Un número de centros volcánicos jóvenes posteriores a los sedimentos lacustres del Grupo

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Maure que son asignados al Grupo Barroso el cual ha tenido erupción del Mioceno hasta el Pleistoceno. (Remigio Fernando, 2012). La estratigrafía regional esta resumida en la siguiente columna (Figura N°5):

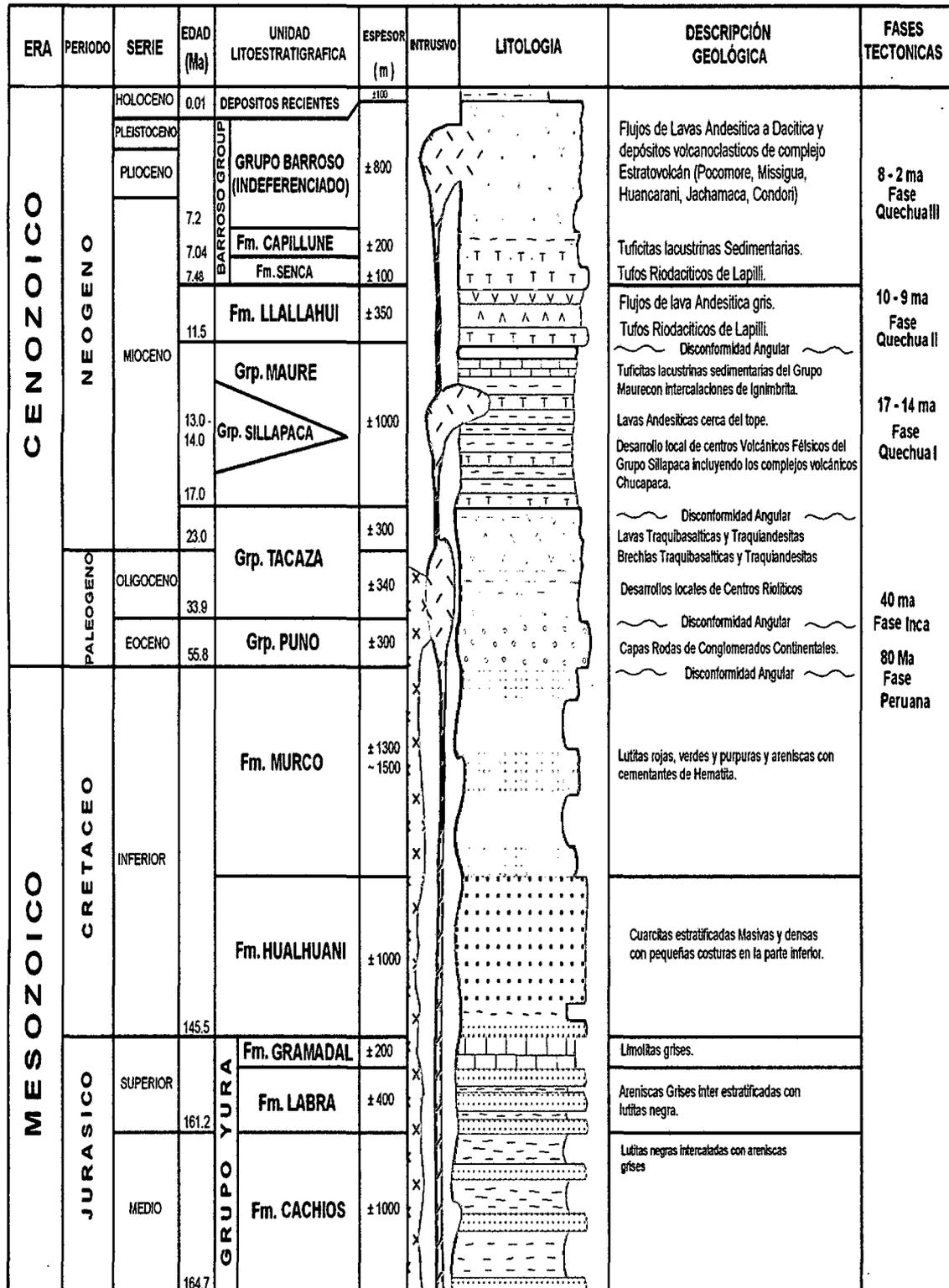


Fig. 5.- Columna Estratigráfica Regional (Morche y Santos, 2009)

#### **4.2.1.1 Grupo Yura**

Las rocas sedimentarias del grupo Yura afloran extensionalmente a través de toda la región y forman un basamento fuertemente deformado, cubierta por la secuencia Cenozoica. En este tipo de sección cerca de Arequipa, ha sido dividido en cinco Formaciones (Benavides, 1962) cuatro de las cuales están representadas en la región de Ichuña. Estas son desde las más antiguas a las más jóvenes: Cachios, Labra, Gramadal y Hualhuani, las cuales juntas tienen un espesor aproximado de 2500 metros. El Grupo Yura es interpretado como una somera secuencia turbidítica, comenzando con finos sedimentos carbonosos depositados en profundidad del agua marina en condiciones anaeróbicas. (Morche & Santos, 2009)

**4.2.1.1.1 Formación Cachios:** Consiste en lutitas carbonosas negras con pirita, con interestratificación de areniscas grises. (Morche & Santos, 2009)

**4.2.1.1.2 Formación Labra:** Consiste en areniscas grises claras a oscuras interestratificadas con lutitas carbonosas negras. Las areniscas aumentan su grosor en proporción de que las lutitas decrecen y las areniscas van a ser más prevalecientes y claras, dando acercamiento hacia la parte superior de la

formación en areniscas calcáreas. (Morche & Santos. 2009).

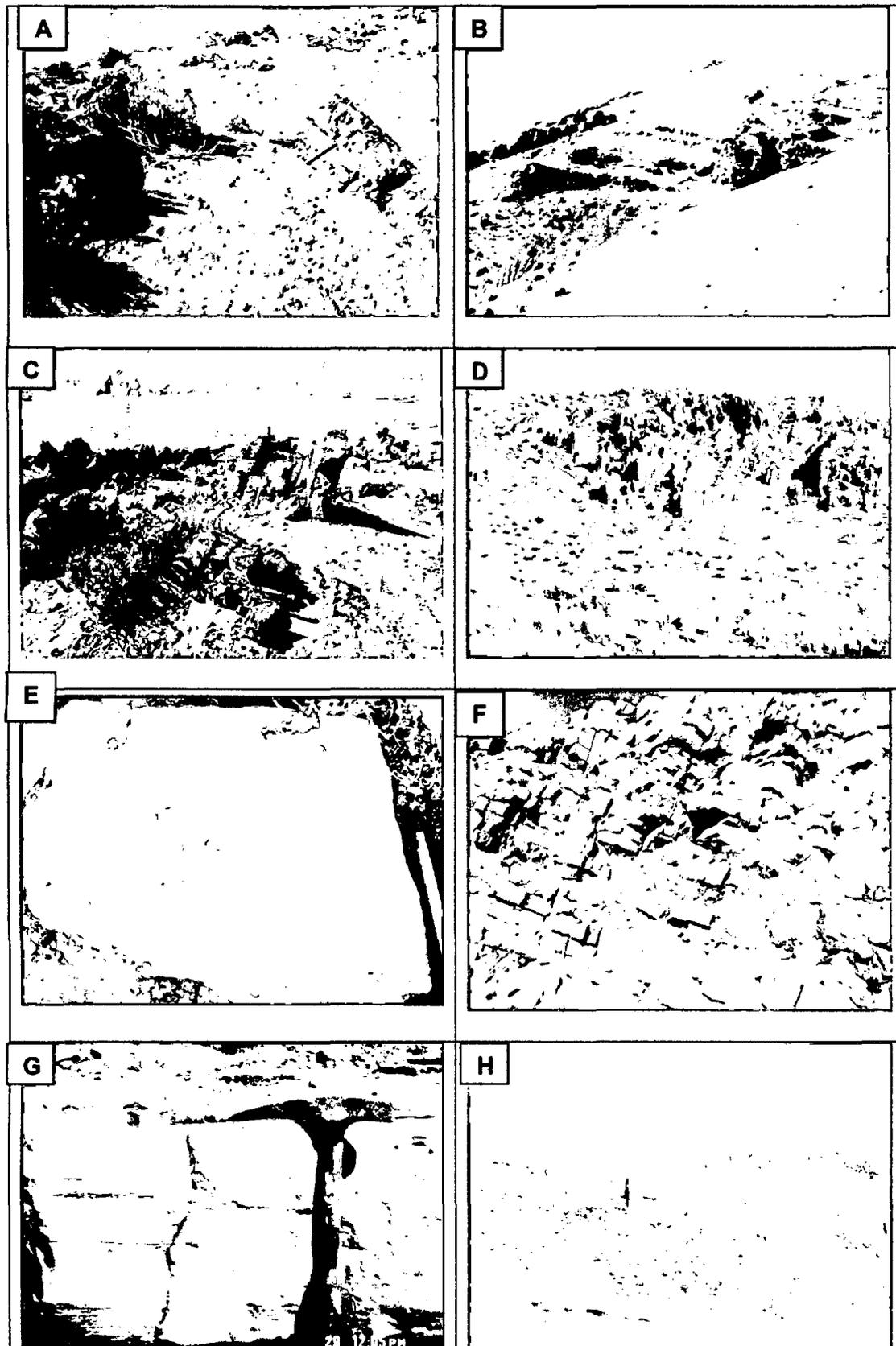
**4.2.1.1.3 Formación Gramadal:** Principalmente compuesta por varios cientos de metros de limos calcáreos grises oscuros bien estratificados intercaladas con areniscas calcáreas hacia el tope de la formación. (Morche & Santos. 2009)

**4.2.1.2 Formación Hualhuani:** Se superpone concordantemente a los limos de la formación Gramadal y consiste esencialmente en areniscas cuarzosas, con un espesor promedio de 1000 metros. Contiene intercalaciones esporádicas de finos granos de conglomerados. Capas de lutitas carbonosas negras muestran plantas terrestres fósiles en la parte inferior de la formación. (Morche & Santos. 2009)

**4.2.1.3 Formación Murco**

La Formación Murco está constituida de areniscas rojas y conglomerados ricos en óxidos de fierro, intercalados con lutitas rojas, púrpuras rojizas y verdes. Las areniscas de grano grueso, con buena estratificación a masivas con estratificación sesgada. La formación posee un espesor mayor de 800 metros en la región. (Morche & Santos. 2009)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**



Fotos 1.- Grupo Yura y Fm. Hualhuani. A, B: Afloramiento de intercalación de lutitas carbonáceas y areniscas de la Fm. Cachios. C, D: Secuencias de areniscas y lutitas fuertemente plegadas de la Fm. Labra. E, F: Muestra de caliza mudstone bioclástica de la Fm. Gramadal, el ambiente de formación esta intercalado con secuencias silicoclásticas y ambiente de materia orgánica. G, H: Estratificación sesgada en las areniscas cuarzosas de la Fm. Hualhuani por dunas hidráulicas. (Remigio Fernando, 2012)

#### **4.2.1.4 Grupo Puno**

Luego de la deposición continental de las capas rojas de la Formación Murco, existe un hiato dentro de los depósitos sedimentarios de la región, como un resultado de la mayor fase de deformación y erosión, relacionados a los eventos orogénicos Peruanos e Inca I ocurrida alrededor de 80 Ma y 55 – 59 Ma respectivamente (Morche & Santos, 2009)

Los productos erosionales son representado por una secuencia de capas rojas continentales del grupo Puno, consisten en brechas pobremente sorteadas, conglomerados y areniscas arcósicas. (Morche & Santos, 2009)

#### **4.2.1.5 Grupo Tacaza**

El grupo Tacaza está desarrollado extensionalmente en la región Ichuña donde comprende una secuencia basal de Brechas superpuestas por una secuencia de flujos de lavas basálticas hasta andesitas de composición basáltica. El grupo tiene aproximadamente 500 metros de espesor en la región y el resto con disconformidad angular en brechas profundamente erosionadas y conglomerados del Grupo Puno con rocas del Basamento Mesozoico deformado. Recientes mapeos geológicos y dataciones

radiométricas en la región Ichuña realizada por Minera Gold Fields Perú S.A. (Morche & Santos, 2009) ha identificado domos riolíticos y eventos volcánicos que presentan el mismo rango de edades de la parte superior del Grupo Tacaza. (Remigio Fernando, 2012)

#### **4.2.1.6 Grupo Maure**

Una secuencia con mayor espesor y extensión de sedimentos lacustrinos sobreyaciendo discordantemente a las lavas del Grupo Tacaza. Los sedimentos son de la edad Miocénica (~20-8 Ma.) y fue depositada en una cuenca extensional intermontañosa ocupada por un lago o una serie de lagos, el cual se cree que tuvo un área aproximada de la mitad del lago Titicaca. (Morche & Santos, 2009)

El Grupo Maure consiste en tobas arenosas pobremente consolidadas y limos intercalados con limonitas y cherts. La parte inferior de la secuencia es predominantemente de color blanco – cremoso, mientras que la parte superior posee sedimentos de tobas verdosas, las cuales son ricas en arcilla de tipo esmectita, probablemente formada por alteración diagenética de los vidrios volcánicos en las tobas. (Remigio Fernando, 2012)

#### **4.2.1.7 Grupo Sillapaca**

El Grupo Sillapaca es usado localmente para nombrar a algunas Formaciones y complejos volcánicos los cuales son en parte contemporáneos con el Grupo Maure. La sección tipo está situada en el Cerro Sillapaca Chico, aproximadamente a 65 km al NW de Ichuña y comprende un domo dacítico asociado a flujos de dacita con biotita, anfíboles y traquiandesitas (Klink et al., 1986)

##### **4.2.1.7.1 Complejo Volcánico Chucapaca**

El complejo volcánico Chucapaca aflora en la parte Este del AOI CHUCAPACA. Consiste principalmente de complejos intrusivos y extrusivos de domos riolíticos el cual sobreyace discordantemente a los sedimentos del Grupo Maure. Este complejo tiene una edad Intra Maure y cae en el mismo rango de edad del Grupo Sillapaca, con el cual es correlacionado. (Remigio Fernando, 2012)

##### **4.2.1.7.2 Complejo Dómico Dacítico – Riolítico Pacorecco**

El complejo dómico Dacítico – Riolítico está situado a 25 Km al SW de la zona del Proyecto,

también nos muestra evidencia de tener una edad contemporánea al Grupo Maure. El mapeo Regional por Minera Gold Fields Perú S.A. indica que los sedimentos volcánicos lacustrinos en el techo del Grupo Maure están en contacto con los complejos dómicos Pacorcco. (Morche & Santos, 2009)

#### **4.2.1.7.3 Formación Llallahui**

La formación Llallahui sobreyace a los sedimentos del Grupo Maure con aparente conformidad. La formación consiste principalmente en lavas andesíticas bien estratificadas con flujos de cenizas en la base. (Remigio Fernando, 2012)

#### **4.2.1.8 Grupo Barroso**

Los sedimentos del Grupo Maure están superpuestos discordantemente por una gruesa y extensa capa de rocas volcánicas del Grupo Barroso. (Remigio Fernando, 2012)

En mapeos realizados por Morche & Santos, 2009 para Minera Gold Fields Perú S.A. han reconocido modelos de ocurrencia del Grupo Barroso en la región. Ellos son:

- Lavas basálticas Andesíticas, controladas por fisuras.
  
- Complejos volcánicos centrales principales de composición Andesítica a Dacítica con menor presencia de Riolitas.

### **4.3 Evolución Tectónica**

La región ha tenido múltiples fases de eventos tectónicos los cuales incluyen una fase extensional inicial con incursiones marinas durante el Jurásico e inicios del Cretáceo tardío en adelante, el cual resulta en el levantamiento y desarrollo de la cordillera de los Andes y arcos magmáticos en todo el Cenozoico. Aunque el Grupo Yura (Jurásico – Cretáceo) y la formación Murco son los afloramientos de rocas más antiguos, es muy probable que sobreyacen al Basamento Paleozoico Cristalino, teniendo al macizo de Arequipa aflorando a una relativa corta distancia hacia el Oeste. (Morche & Santos, 2009)

#### **4.3.1 Fase Tectónica Peruana**

La secuencia Mesozoica Sedimentaria fue principalmente afectada por la fase Tectónica Peruana Compresional, el cual llevo a las tendencias NW-SE, plegamientos y subsecuencia de afloramientos en el Cretáceo Superior alrededor de 80 Ma. (e.g. Megard 1984, Benavides 1999). Este fue acompañado por el

emplazamiento del batolito de la costa más lejos al Oeste en los tiempos Paleógeno - Cretáceo Tardío. (Morche & Santos, 2009)

En la región Ichuña la primera Fase de la deformación Andina es mostrada en el plegamiento del Grupo Yura y la formación Murco. Las estructuras de la región están dominadas por anticlinales de tendencia NW y complementariamente sinclinales. (Morche & Santos, 2009)

#### **4.3.2 Fase Tectónica Inca**

La fase Inca I ocurre alrededor de 59 – 55 Ma. (e.g. Noble et al, 1985). Esta fase ha sido un evento NE-SW compresional, este evento principalmente reactivo de tendencias NW de fallas del basamento y posiblemente ha apretado plegamientos de tendencia NW-SE de la fase Peruana. (Morche & Santos, 2009)

En esta etapa un Arco Volcánico Toquepala fue activado hacia el Oeste (Clark et al, 1990). El levantamiento relacionado a este evento compresional resulta en altos grados de erosión y depositación del Grupo Puno Continental, teniendo una secuencia de capas rojas en la región del Altiplano. (Morche & Santos, 2009)

El siguiente evento compresional importante fue la fase Inca II, datada en 43-42 ma. (Noble 1990). Este produce un sistema con tendencias de fallas transversales NE-SW las cuales segmentan

el cinturón la fase Peruana temprana e Inca (Vidal y Noble, 1994).

El techo del Grupo Puno está disconformemente superpuesto por lavas extensivas del Grupo Tacaza. Esta provincia Ígnea ha sido principalmente caracterizada por la erupción de lavas básicas a Intermedias de tendencia alcalina, sugiriendo que un régimen extensional fue seguido inmediatamente después de la fase Tectónica Inca II. (Morche & Santos, 2009)

Un evento de levantamiento en el Oligoceno Medio, Fase Inca III o Fase Aymara, se cree que ha tenido una ocurrencia alrededor de los 27 Ma. (e.g. Sebrier et al 1988). (Morche & Santos, 2009)

Evento coincidente con una aparente calma en el volcanismo en la escala regional entre las partes del Grupo Tacaza Inferior y Superior. (Morche & Santos, 2009)

#### **4.3.3 Fase Tectónica Quechua**

La orogenia Neógena Quechua esta subdividida en 4 fases las cuales toman lugar alrededor de 17,8, 5 y 2.5 Ma. respectivamente. La fase compresiva Quechua alrededor de los 17 – 18 Ma. marca el final del vulcanismo Miocénico Tacaza y es seguido por levantamientos con mayor presencia de Fallas Normales. El resultado diferencial de movimientos de bloques

de fallas llevo a la formación de cuencas cerradas que subsecuentemente fueron llenadas con sedimentos lacustrinos. Durante esta fase el Grupo Maure era acumulado en cuencas extensionales que se desarrollaron en uno y otro lado al NW del basamento Alto de Ichuña. (Morche & Santos, 2009)

Esta fase de extensión fue acompañada por vulcanismo del Grupo Sillapaca (16 a 8 Ma.) el cual incluye la formación Llallahui como también el complejo Volcánico Chucapaca. Ignimbritas fueron posiblemente erupcionadas por estructuras tensionales en los márgenes de cuencas, y contribuyeron a llenar la secuencia lacustrina del Grupo Maure. (Morche & Santos, 2009)

El evento compresional Quechua 2 sucedió hace 8 Ma aproximadamente el cual llevo a la deformación del Grupo Maure y del vulcanismo del Grupo Sillapaca. Luego de un corto hiatus en el vulcanismo, la actividad magmática fue reanudada con vulcanismo explosivo riolítico a dacítico y subsecuentemente más vulcanismo efusivo de composición Andesítica – Dacítica generalmente del Grupo Barroso Inferior. (Morche & Santos, 2009)

#### **4.4 Geología Estructural**

Los elementos estructurales más prominentes es el tren estructural de fallas NW y zonas sobresalientes, fallas transversales de orientación

NE. Frecuentemente las fases tectónicas compresionales reactivan fallas antiguas. La localización de centros volcánicos félsicos esta principalmente controlado por patrones estructurales del basamento Mesozoico y bloques de fallas diferenciales de elevación. (Morche & Santos, 2009)

Los elementos estructurales más prominentes es el tren estructural de fallas NW y zonas sobresalientes, fallas transversales de orientación NE. Frecuentemente las fases tectónicas compresionales reactivan fallas antiguas. La localización de centros volcánicos félsicos esta principalmente controlado por patrones estructurales del basamento Mesozoico y bloques de fallas diferenciales de elevación. (Morche & Santos, 2009)

El sistema de trabajo para la interpretación tectónica en la zona ha sido los siguientes pasos:

- **Fotointerpretación de imágenes:** Lineamientos con mayor continuidad, discordancias, importancia de un lineamiento con respecto a otro.
- **Validación de lineamientos en campo:** Cartografiado a detalle de estructuras, bandeamiento de flujos y su relación con los lineamientos trazados.
- **Cronología relativa:** El cartografiado de las estructuras nos ubica en espacio y tiempo con respecto a las diferentes fases tectónicas.

- **Medición de datos cinemáticos:** Se ha tomado azimut / buzamiento / pitch / sentido de movimiento de fallas con un alto valor de confianza para su análisis.
- **Cronología absoluta:** En lo posible, se realizará con la información cronológica de la zona, colocar a un sistema de falla una edad relativa en el proceso y/o evolución de las rocas en la zona.
- **Fase Tectónica:** Se correlacionará a las fases tectónicas registradas por Benavides-Cáceres (1999).

#### 4.4.1 Foto Interpretación de Imágenes

Se utilizó para el trazo de lineamientos una imagen Ortofoto, adquirida en Febrero del 2009 por la empresa Minera Canteras del Hallazgo SAC. Se trazó los lineamientos y se presentan cuatro tendencias principales: AND–Andino, TAN–Trasandina, NS–Norte-Sur y EO–Este-Oeste. La tendencia TAN es lo más resaltante en la imagen, incluso corta a los lineamientos AND; Sin embargo, el principal control en el área es el lineamiento AND. (Morche & Santos, 2009)

#### 4.4.2 Validación de Lineamientos en Campo

En el cartografiado que se realizó se revisó los lineamientos trazados para determinar si son fallas o simplemente geoformas. El principal sistema de fallas es de tendencia NW-Andino, asociada al eje axial de Anticlinal Canahuire. El segundo sistema es la tendencia NE-Trasandino que intercepta al sistema andino y presenta una

variante al Norte del complejo volcánico con dirección NNE, probable tensional del sistema principal. Fallas menores de orientaciones NS, NWW-SEE, NNW, se encuentran asociada a ambos sistema fueron reconocidas en la zona, nos permitirán a conocer la dirección de los esfuerzos y sus relación con el ambiente epitermal. (Morche & Santos, 2009)

#### **4.4.3 Cronología Relativa**

El área de estudio se encuentra fuertemente plegado y afectado por sistemas de fallas ya mencionadas. Solo se ha focalizado el estudio de la estructuras formadas posteriores al emplazamiento del complejo volcánico, es decir < a 14 Ma y podrían corresponder a la fase tectónica Quechua II o Quechua III.

#### **4.4.4 Medición de Datos Cinemáticos**

Los datos medidos en las fallas han sido el azimut, buzamiento de los planos de fallas, el ángulo pitch y el sentido de desplazamiento de las fallas, con ayuda de indicadores cinemáticos (tectoglifos) de la figura X. Los datos fueron comparados y analizados con el Modelo de Cizalla (Harding, 1974 y Waldron, 2005) y también, con planos nodales en la Red estereográfica equiareal de Schmit en el software TecnonicFP. Para el análisis cinemático de las fallas en el Área de Estudio se ha tomado como referencia la metodología realizada por Rodríguez R., en el estudio del Sistema de Fallas Chonta y sus implicancias Metalogenéticas entre 12°15'S y 13°30'S (Huancavelica – Perú), (2008).

## CAPITULO V: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Resultados de la Investigación

#### 5.1.1 Columnas Estratigráficas

Se determinó hacer el levantamiento de cuatro columnas representativas dentro del área de influencia del Proyecto Chucapaca, divididas en dos zonas, una zona al borde de la zona mineralizada de Canahuire y otra zona en la zona denominada “Pampa Chucapaca”, en cada zona se levantaron dos columnas estratigráficas de la formación Gramadal al detalle, elaborando columnas detalladas en Autocad.

Adicional se realizó un muestreo selectivo tratando de sacar las muestras en el mismo nivel estratigráfico y así poder realizar una comparación geoquímica de las rocas y también poder analizar el comportamiento de la cuenca.

#### 5.1.2 Columnas en “Canahuire”



Foto 2.- Fotografía mostrando los Bloques Norte y Sur

### **5.1.2.1 Columna Bloque Norte**

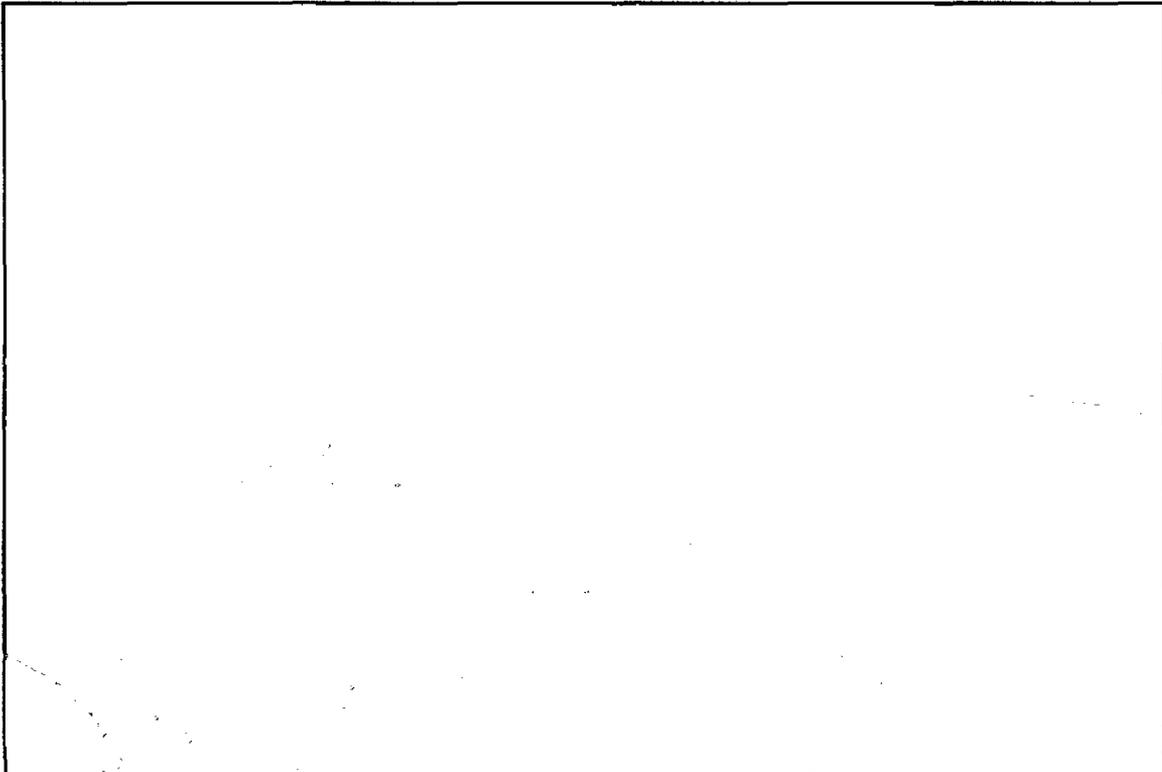
Para el levantamiento de esta columna primeramente se tuvo que identificar el contacto entre la Fm. Labra (miembro inferior) y la Fm. Gramadal, ya que la zona de contacto se presenta difusa por la presencia de fallas a consecuencia del emplazamiento del Diatrema Canahuire, pero luego de poder determinar el contacto estratigráfico se inició el levantamiento detallado de la columna describiendo cada estrato según la clasificación de Dunham 1962, y tomando datos detallados de los espesores de cada estrato. La columna tiene un total de 430 metros de espesor, la cual pese a una sola formación se encuentra subdivididas por 5 unidades silicoclásticas, las cuales nos sirven como estratos guías para realizar la correlación de columnas estratigráficas.

Luego de haber realizado la columna estratigráfica se seleccionaron 15 muestras para ser analizadas como Roca Total (lo cual involucra todos los análisis mencionados en el título 3.1.2) y se seleccionaron 10 muestras especiales para realizar sección delgada a cada una de ellas y poder identificar si se tiene algún mineral adicional y poder comparar la sección delgada con la geoquímica.



**Foto 3.- Fotografía mostrando la columna levantada del Bloque Norte**

### **5.1.2.2 Columna Bloque Sur**



**Foto 4.- Fotografía mostrando la columna levantada del Bloque Sur**

Para el levantamiento de esta columna estratigráfica primeramente se tuvo que identificar el contacto entre la Fm. Labra (miembro inferior) y la Fm. Gramadal, ya que la zona de contacto es un poco difusa por la presencia de fallas a consecuencia del emplazamiento del Diatrema Canahuire adicional a encontrarse cubierto por depósitos cuaternarios.

Luego de poder determinar el contacto estratigráfico se inició el levantamiento detallado de la columna describiendo cada estrato según la clasificación de Dunham 1962, y tomando datos detallados de los espesores de cada estrato.

La columna tiene un total de 306 metros de espesor, la cual pese a una sola formación se encuentra subdivididas por 6 unidades silicoclásticas, las cuales nos sirven como estratos guías para realizar la correlación de columnas estratigráficas.

Luego de haber realizado la columna estratigráfica se seleccionaron 17 muestras para ser analizadas como Roca Total (lo cual involucra todos los análisis mencionados en el título 3.4) y se seleccionaron 11 muestras especiales para realizar sección delgada a cada una de ellas y poder identificar si se tiene algún mineral adicional y poder comparar la sección delgada con la geoquímica.

### 5.1.3 Columnas en la Zona “Pampa Chucapaca”

#### 5.1.3.1 Columna Huanacamaya



Foto 5.- Fotografía mostrando la columna levantada de la zona denominada Huanacamaya

Para el levantamiento de esta columna estratigráfica primeramente se tuvo que identificar el contacto entre la Fm. Labra (miembro inferior) y la Fm. Gramadal, ya que la zona de contacto no está visible claramente por encontrarse en su mayor parte cubierto de sedimentos cuaternarios, pero luego de poder determinar claramente el contacto estratigráfico se inició el levantamiento detallado de la columna describiendo cada estrato según la clasificación de Dunham 1962, y tomando datos detallados de los espesores de cada estrato. La columna estratigráfica tiene un total de 223 metros de espesor, la cual pese a una sola formación se

encuentra subdivididas por 4 unidades silicoclásticas, las cuales nos sirven como estratos guías para realizar la correlación de columnas estratigráficas.

Luego de haber realizado la columna estratigráfica se seleccionaron 13 muestras para ser analizadas como Roca Total (lo cual involucra todos los análisis mencionados en el título 3.4) y se seleccionaron 9 muestras especiales para realizar sección delgada a cada una de ellas y poder identificar si se tiene algún mineral adicional y poder comparar la sección delgada con la geoquímica.

#### **5.1.3.2 Columna Yunga**

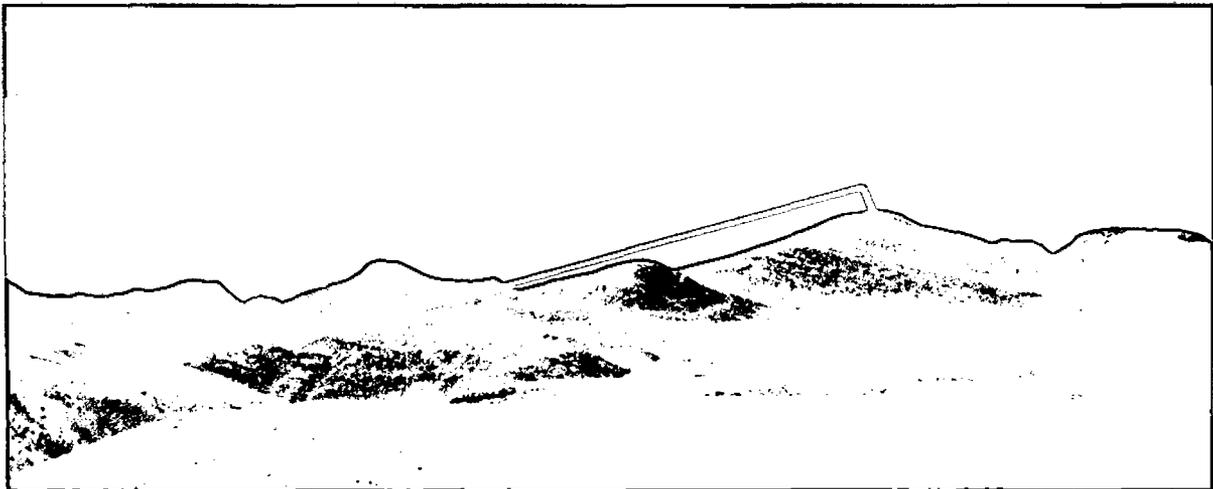


Foto 6.- Fotografía mostrando la columna levantada de la zona denominada Yunga

Para el levantamiento de esta columna estratigráfica, adicional a identificar el contacto entre las Fm. Labra y Fm. Gramadal se tuvo que seleccionar la zona más propicia para el levantamiento por la presencia de varias fallas en la zona, las cuales hubiesen podido alterar datos de espesores o no mostrar afloramientos completos de

la columna estratigráfica. Luego de identificar claramente la zona en donde se iba a realizar el levantamiento se inició tomando datos se inicia describiendo cada estrato según la clasificación de Dunham 1962, y tomando datos detallados de los espesores de cada estrato. La columna tiene un total de 197 metros de espesor, la esta subdividida por 4 unidades silicoclásticas, los cuales son usados como estratos guías para la correlación de columnas y análisis de cuencas. Al finalizar la columna se seleccionaron 13 muestras para ser analizadas como Roca Total (Lo cual involucra todos los análisis mencionados en el título 3.4) y se seleccionaron 7 muestras especiales para realizar sección delgada a cada una de ellas y poder identificar si se tiene algún mineral adicional y poder comparar la sección delgada con la geoquímica.

#### **5.1.4 Geoquímica de Rocas**

Luego de haber realizado el muestreo selectivo de las columnas estratigráficas se envió a analizar por “Roca Total” en el laboratorio ALS Perú S.A. y se obtuvo los resultados, después de 2 meses.

Ya con los resultados se inició el análisis de los resultados geoquímicos obtenidos, con el software ioGAS 4.4; el cual es un programa netamente de análisis geoquímico y ayuda en el trabajo de tablas estadísticas. Primeramente con los resultados geoquímicos se los coloco en tablas para identificar si la definición que se había dado a la roca es correcta, y así verificar si todas las muestras de rocas son calizas o alguna otra roca carbonatada.

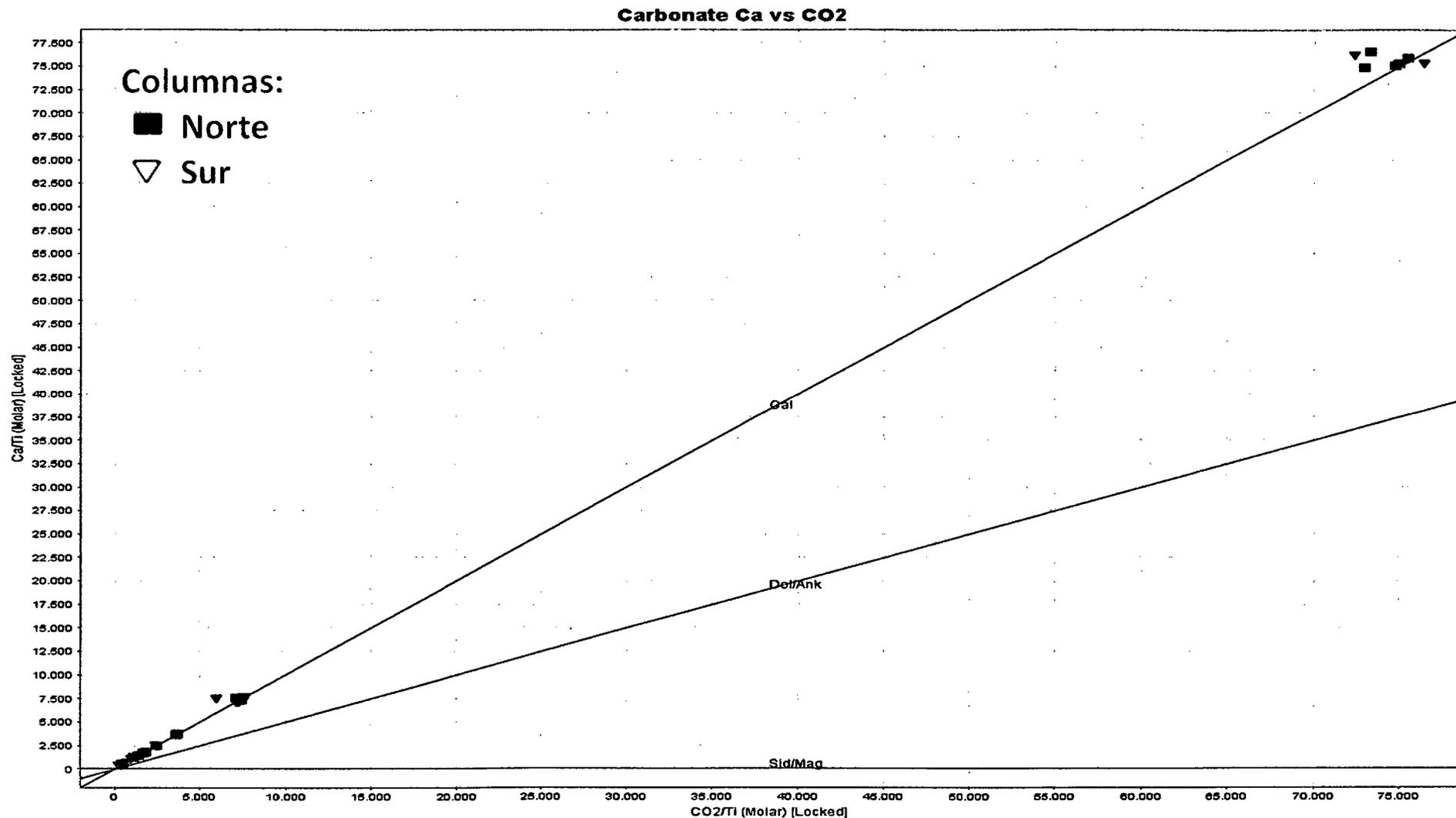


Fig. 9.- Columnas Norte y Columna Sur en el programa ioGas (Amorós Oscar, 2014)

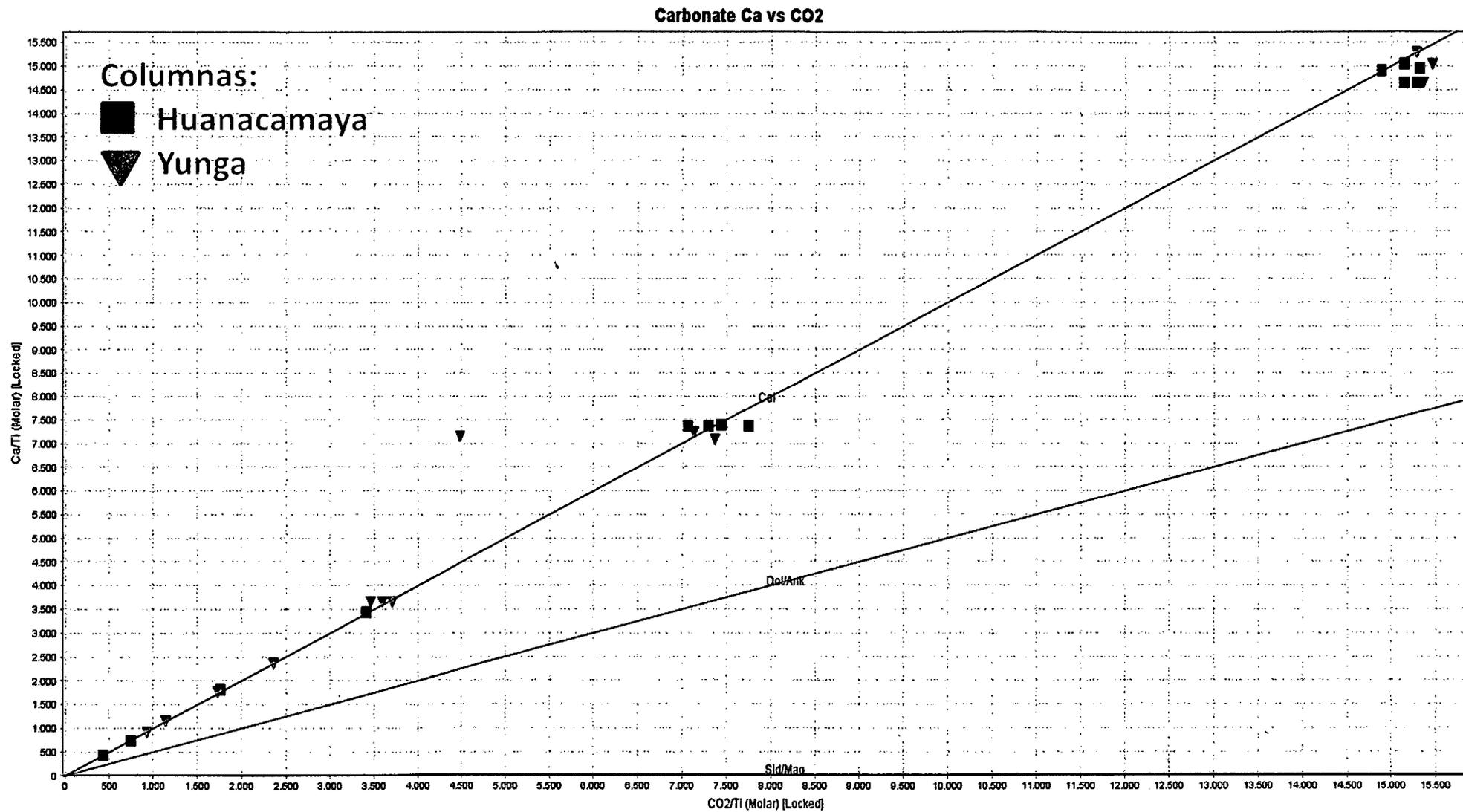


Fig. 10.- Columnas Huanacamaya y Columna Yunga en el programa ioGas (Amorós Oscar, 2014)

Luego de poder verificar que todas las muestras tomadas en campo están dentro del rango para ser llamadas Calizas, continuamos con el análisis de los datos geoquímicos obtenidos en campo de las muestras, analizándolas en dos grupos.

En las muestras tomadas en el sector de Yunga y Huanacamaya lo que se hizo es extraer muestras para análisis geoquímico del mismo nivel estratigráfico; guiándonos de las columnas levantadas al detalle de la zona; para así poder hacer una comparación entre cada una de las muestras y poder observar las diferencias presentes en cada una de ellas, así como las características estratigráficas y geoquímicas de cada zona.

## **5.2 Análisis de la Información**

### **5.2.1 Análisis Geoquímico**

Se inicia la interpretación de los resultados geoquímicos de Roca Total obtenidos y adicionales hacer una comparación de muestras que fueron tomadas en un mismo nivel estratigráfico tanto en las muestras de las columnas Norte y Sur como en las columnas de Huanacamaya y Yunga.

En las comparaciones de las columnas que se va a realizar se va trabajar en pares, primero las columnas NORTE - SUR y luego las columnas HUANACAMAYA – YUNGA.

En total tenemos **58** muestras las cuales están distribuidas de la siguiente manera:

- Columna Norte 15 muestras
- Columna Sur 17 Muestras
- Columna Huanacamaya 13 Muestras
- Columna Yunga 13 Muestras

Para realizar la interpretación geoquímica de los resultados obtenidos vamos a subdividirlos en categorías para realizar una mejor interpretación.

Para analizar los datos de resultados geoquímicos los datos convencionalmente son subdivididos en 4 categorías: Elementos mayores; elementos traza, isótopos radio genéticos e isótopos estables. (Rollinson Hugh, 1993)

**5.2.1.1 Elementos Mayores:** Son los elementos que predominan en cualquier análisis de rocas. Estos son Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P; y sus concentraciones son expresadas como peso por ciento (wt%) del óxido. La determinación de elementos mayores son usualmente hechos solo para los cationes y se asumen que estos están acompañados por una apropiada cantidad de oxígeno. (Rollinson Hugh, 1993)

**5.2.1.2 Elementos Traza:** Son definidos como elementos que están presentes en con valor inferior al 0.1% y sus concentraciones son expresadas en partes por millón (ppm) o en más raras ocasiones en partes por billón (ppb) del elemento. (Rollinson Hugh, 1993)

**5.2.1.3 Volátiles:** El contenido total de volátiles de una roca está determinada por ignición a 1000°C como es expresado en perdido por Ignición (LOI). Los isótopos son subdivididos en **Isótopos radio genéticos e Isotopos estables**. (Rollinson Hugh, 1993)

## **5.2.2 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES**

En los resultados geoquímicos de elementos mayores vamos a poder observar en las 4 columnas la relación presente entre el porcentaje de CaO % y los elementos LOI %. Adicional tenemos que en donde tenemos alto contenido de SiO<sub>2</sub> tanto el contenido de CaO% y LOI% baja.

En todas las columnas estratigráficas al analizar los elementos mayores podemos definir el tipo de roca como se muestra en la Fig. 9 y Fig. 10, y se puede identificar a los elementos dominantes.

En todas las columnas estratigráficas levantadas tenemos que en la primera muestra se tiene siempre un alto contenido de SiO<sub>2</sub>, esto debiéndose principalmente a que la muestra ha sido tomada en el contacto Litológico de la Fm. Labra y la Fm. Gramadal, teniendo litológicamente Calizas Arenosas, lo cual sedimentológicamente no indica la transición entre un sistema de sedimentación de playas a un sistema de sedimentación Marino.

Se tiene que el contenido de  $MgO\%$  es bajo por lo cual podemos descartar la presencia de Dolomías en la Fm Gramadal, en lo que se debe prestar atención es el contenido de  $Fe_2O_3$ , ya que en donde tenemos alta presencia de Fe, podemos tener rocas más favorables para ser alteradas en Siderita, lo cual es importante para el Yacimiento ya que es favorable para la mineralización de Au.

Los resultados de elementos mayores está focalizada en la presencia de 3 elementos:  $SiO_2$ , CaO y LOI. Los elementos con poca presencia serian:  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , MgO,  $Na_2O$  y  $K_2O$ . En cambio tenemos elementos que se encuentran en el límite mínimo de detección siendo poco importantes en los resultados de la roca al momento de sufrir algún tipo de alteración Hidrotermal, los elementos son:  $Cr_2O_3$ ,  $TiO_2$ , MnO,  $P_2O_5$ , SrO, BaO.

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Muestra	Este	Norte	Cota	Ubicación	Descripción	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	Cr2O3 %	TiO2 %	MnO %	P2O5 %	SrO %	BaO %	LOI %	Total %
C108312	333129	8208401	4905	NORTE	GRAINSTONE	12.73	3.51	1	44.93	0.68	0.13	0.65	0.001	0.15	0.05	0.066	0.04	0.02	36.2	100.16
C108313	333161	8208456	4893	NORTE	GRAINSTONE	5.82	1.24	0.87	50.42	0.57	0.09	0.18	0.001	0.04	0.09	0.049	0.03	0.03	40.5	99.93
C108315	333100	8208404	4913	NORTE	MUDSTONE	9.47	1.15	1.04	48.59	0.75	0.19	0.11	0.001	0.04	0.05	0.069	0.07	0.04	38.4	99.97
C108317	332995	8208167	4939	NORTE	MUDSTONE	8.43	1.3	1.04	48.79	0.76	0.08	0.21	0.001	0.05	0.08	0.053	0.05	0.01	39	99.854
C108319	332948	8208386	4958	NORTE	GRAINSTONE	3.54	0.4	0.26	52.7	0.43	0.05	0.05	0.001	0.001	0.04	0.024	0.04	0.001	42.1	99.637
C108321	332897	8208370	4976	NORTE	PACKSTONE	2.37	0.66	0.53	53.28	0.55	0.06	0.12	0.001	0.001	0.05	0.04	0.04	0.001	42.4	100.1
C108323	332644	8208353	4998	NORTE	MUDSTONE	4.47	0.81	0.32	52.01	0.46	0.19	0.13	0.001	0.02	0.03	0.025	0.04	0.001	41.4	99.907
C108325	332766	8208397	4991	NORTE	GRAINSTONE	2.89	0.38	0.29	52.85	0.43	0.06	0.13	0.001	0.001	0.04	0.028	0.04	0.18	42.2	99.52
C108327	332751	8208426	4983	NORTE	MUDSTONE	3.43	0.63	0.29	52.57	0.48	0.08	0.08	0.001	0.001	0.03	0.029	0.03	0.001	42.1	99.752
C108329	332696	8208479	4971	NORTE	MUDSTONE	3.61	0.67	0.26	52.66	0.51	0.09	0.1	0.001	0.01	0.03	0.03	0.03	0.001	41.9	99.902
C108331	332618	8208574	4932	NORTE	MUDSTONE	4.68	1.1	0.71	51.3	0.54	0.07	0.15	0.001	0.03	0.09	0.036	0.03	0.001	41.2	99.938
C108333	332609	8208629	4924	NORTE	PACKSTONE	4.16	0.67	1.27	51.18	0.59	0.05	0.07	0.001	0.01	0.09	0.034	0.03	0.01	41.1	99.265
C108335	332498	8208716	4895	NORTE	MUDSTONE	7.3	1.37	1.26	49.06	0.72	0.06	0.17	0.001	0.06	0.09	0.039	0.04	0.001	39.8	99.971
C108337	332461	8208754	4903	NORTE	WACKSTONE	2.19	0.3	0.55	53.78	0.39	0.04	0.03	0.001	0.001	0.07	0.03	0.03	0.03	42.6	100.04
C108339	332448	8208777	4907	NORTE	GRAINSTONE	5.69	0.76	0.48	51.14	0.54	0.07	0.06	0.001	0.02	0.05	0.027	0.04	0.01	40.8	99.688

Tabla. 3.- Se muestra los resultados de los elementos mayores correspondientes a la columna Norte levantada, en la cual podemos observar que la muestra C108312 presenta el Valor más alto de SiO<sub>2</sub> y a la vez tiene los menores valores para el CaO y de LOI, dicha muestra fue tomada en el contacto con la formación Labra por lo cual se considera esa muestra en un ambiente de transición de las areniscas de la Fm. Labra hacia las Calizas de la Fm. Gramadal. Caso contrario a lo que ocurre en la muestra C108337 en la cual tenemos el menor valor de SiO<sub>2</sub> y los mayores valores para el CaO y LOI. En todos los valores se puede observar que el valor de MgO en todos los casos es muy bajo (menor a 1%) por lo cual se verifica lo interpretado en la Fig. 9 en donde se menciona que todas las muestras analizadas son Calizas.

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>SiO2</b>	<b>Al2O3</b>	<b>Fe2O3</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>Na2O</b>	<b>K2O</b>	<b>Cr2O3</b>	<b>TiO2</b>	<b>MnO</b>	<b>P2O5</b>	<b>SrO</b>	<b>BaO</b>	<b>LOI</b>
	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>Mínimo</b>	2.190	0.300	0.260	44.930	0.390	0.040	0.030	0.001	0.001	0.030	0.024	0.030	0.001	36.200
<b>Máximo</b>	12.730	3.510	1.270	53.780	0.760	0.190	0.650	0.001	0.150	0.090	0.069	0.070	0.180	42.600
<b>Promedio</b>	5.385	0.997	0.678	51.017	0.560	0.087	0.149	0.001	0.029	0.059	0.039	0.039	0.022	40.780
<b>Mediana</b>	4.470	0.760	0.550	51.300	0.540	0.070	0.120	0.001	0.020	0.050	0.034	0.040	0.010	41.200
<b>Promedio Geométrico</b>	4.748	0.820	0.579	50.965	0.548	0.078	0.114	0.001	0.010	0.054	0.036	0.038	0.006	40.742
<b>Sumatoria</b>	80.780	14.950	10.170	765.260	8.400	1.310	2.240	0.015	0.435	0.880	0.579	0.580	0.337	611.700
<b>Varianza</b>	8.757	0.601	0.139	5.518	0.014	0.002	0.022	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.002	3.157
<b>Desviación Estándar</b>	2.959	0.775	0.373	2.349	0.119	0.047	0.147	0.000	0.039	0.024	0.014	0.011	0.045	1.777
<b>Coefficiente de Variación</b>	54.948	77.790	55.032	4.604	21.322	53.788	98.757	0.000	133.837	40.678	37.322	27.416	202.355	4.357
<b>Rango Intercuartil</b>	3.870	0.610	0.750	3.640	0.220	0.030	0.100	0.000	0.039	0.050	0.021	0.010	0.029	2.300
<b>Rango</b>	10.540	3.210	1.010	8.850	0.370	0.150	0.620	0.000	0.149	0.060	0.045	0.040	0.179	6.400
<b>Percentil 10</b>	2.298	0.348	0.260	47.126	0.414	0.046	0.042	0.001	0.001	0.030	0.025	0.030	0.001	37.520
<b>Percentil 25</b>	3.430	0.630	0.290	49.060	0.460	0.060	0.070	0.001	0.001	0.040	0.028	0.030	0.001	39.800
<b>Percentil 50</b>	4.470	0.760	0.550	51.300	0.540	0.070	0.120	0.001	0.020	0.050	0.034	0.040	0.010	41.200
<b>Percentil 75</b>	7.300	1.240	1.040	52.700	0.680	0.090	0.170	0.001	0.040	0.090	0.049	0.040	0.030	42.100
<b>Percentil 95</b>	12.730	3.510	1.270	53.780	0.760	0.190	0.650	0.001	0.150	0.090	0.069	0.070	0.180	42.600
<b>Percentil 98</b>	12.730	3.510	1.270	53.780	0.760	0.190	0.650	0.001	0.150	0.090	0.069	0.070	0.180	42.600
<b>Percentil 99</b>	12.730	3.510	1.270	53.780	0.760	0.190	0.650	0.001	0.150	0.090	0.069	0.070	0.180	42.600

Tabla. 4.- Resultados estadísticos de Elementos Mayores de la columna Norte. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL  
PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

---

Se presenta cómo se muestran los resultados en gráficas de dispersión para poder hacer comparaciones entre las columnas estratigráficas. Y analizar los diferentes contenidos mineralógicos según la posición estratigráfica donde se obtuvo la muestra; lo cual será analizado en los siguientes gráficos:

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Muestra	Este	Norte	Cota	Ubicación	Descripción	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	Cr2O3 %	TiO2 %	MnO %	P2O5 %	SrO %	BaO %	LOI %	Total %
C108340	332877	8207295	4855	SUR	GRAINSTONE	4.81	0.67	1.53	49.39	1.87	0.07	0.08	0.001	0.01	0.11	0.032	0.03	0.01	41.00	99.613
C108342	332869	8207232	4853	SUR	GRAINSTONE	27.99	1.82	3.66	31.86	2.92	0.15	0.19	0.001	0.08	0.15	0.07	0.03	0.001	29.70	98.622
C108344	332863	8207218	4855	SUR	MUDSTONE	7.67	1.81	0.97	49.28	0.69	0.1	0.33	0.001	0.07	0.07	0.048	0.04	0.01	39.00	100.09
C108346	332831	8207236	4877	SUR	MUDSTONE	11.73	2.53	1.28	45.36	0.74	0.1	0.44	0.001	0.13	0.08	0.081	0.06	0.01	36.70	99.242
C108348	332809	8207257	4883	SUR	WACKSTONE	13.08	3.22	1.15	43.56	0.89	0.12	0.5	0.001	0.17	0.04	0.069	0.06	0.03	36.00	98.89
C108350	332786	8207250	4894	SUR	PACKSTONE	25.01	3.09	1.1	37.96	0.49	0.08	0.38	0.001	0.19	0.05	0.061	0.04	0.04	31.00	99.492
C108352	332738	8207279	4914	SUR	WACKSTONE	2.87	0.33	0.33	53.46	0.43	0.05	0.02	0.001	0.001	0.05	0.02	0.03	0.04	42.30	99.932
C108354	332719	8207296	4926	SUR	GRAINSTONE	3.19	0.7	0.33	53.04	0.6	0.05	0.1	0.001	0.01	0.03	0.029	0.05	0.01	42.00	100.14
C108358	332680	8207332	4949	SUR	MUDSTONE	3.4	0.46	0.24	52.88	0.41	0.06	0.05	0.001	0.001	0.03	0.022	0.04	0.001	42.20	99.795
C108358	332672	8207351	4958	SUR	GRAINSTONE	3.68	0.9	0.65	52.11	0.57	0.07	0.12	0.001	0.01	0.05	0.04	0.05	0.01	41.30	99.561
C108360	332659	8207350	4968	SUR	WACKSTONE	3.35	0.86	0.3	52.59	0.61	0.18	0.09	0.001	0.01	0.02	0.024	0.05	0.001	41.70	99.786
C108362	332639	8207361	4977	SUR	MUDSTONE	4.42	0.74	0.69	50.9	1.16	0.06	0.08	0.001	0.01	0.08	0.026	0.03	0.001	41.60	99.798
C108364	332581	8207386	4976	SUR	MUDSTONE	2.66	0.55	0.3	53.15	0.53	0.04	0.05	0.001	0.01	0.04	0.028	0.04	0.02	42.50	99.919
C108366	332561	8207384	4983	SUR	MUDSTONE	2.4	0.42	0.25	53.74	0.43	0.12	0.07	0.001	0.01	0.03	0.019	0.03	0.01	42.60	100.13
C108368	332545	8207404	4988	SUR	GRAINSTONE	3.19	0.69	0.48	52.85	0.46	0.2	0.11	0.001	0.02	0.07	0.027	0.04	0.01	42.00	100.15
C108370	332511	8207404	4993	SUR	WACKSTONE	5.01	0.88	0.79	51	0.96	0.07	0.18	0.001	0.03	0.06	0.125	0.07	0.01	40.70	99.886
C108372	332430	8207457	4993	SUR	PACKSTONE	8.49	0.57	0.73	49.62	0.41	0.05	0.15	0.001	0.01	0.07	0.025	0.03	0.02	39.60	99.776

Tabla. 5.- Se muestra los resultados de los elementos mayores correspondientes a la columna Sur levantada, en la cual podemos observar que las muestras C108342 y C108350 presentan los valores más altos SiO<sub>2</sub> y a la vez tiene los menores valores para el CaO y de LOI. La Muestra C108342 fue tomada luego del primer nivel siloclástico identificado en toda la columna de la Fm. Gramadal; en la muestra C108350 se tiene que la muestra es una calcarenita con cemento de micrita ocasionando el alto contenido de SiO<sub>2</sub>. En cambio en la muestra C108366 tenemos el menor valor de SiO<sub>2</sub> y los mayores valores para el CaO y LOI. En todos los valores se puede observar que el valor de MgO es muy bajo (menor a 3%) por lo cual se puede verificar que todas las muestras tomadas son Calizas como se muestra en la Fig. 9.

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>SiO2</b>	<b>Al2O3</b>	<b>Fe2O3</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>Na2O</b>	<b>K2O</b>	<b>Cr2O3</b>	<b>TiO2</b>	<b>MnO</b>	<b>P2O5</b>	<b>SrO</b>	<b>BaO</b>	<b>LOI</b>
	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>Mínimo</b>	2.400	0.330	0.240	31.860	0.410	0.040	0.020	0.001	0.001	0.020	0.019	0.030	0.001	29.700
<b>Máximo</b>	27.990	3.220	3.660	53.740	2.920	0.200	0.500	0.001	0.190	0.150	0.125	0.070	0.040	42.600
<b>Promedio</b>	7.821	1.191	0.869	48.985	0.834	0.092	0.173	0.001	0.045	0.061	0.044	0.042	0.014	39.524
<b>Mediana</b>	4.420	0.740	0.690	51.000	0.600	0.070	0.110	0.001	0.010	0.050	0.029	0.040	0.010	41.300
<b>Promedio Geométrico</b>	5.635	0.926	0.649	48.563	0.697	0.083	0.124	0.001	0.018	0.053	0.037	0.041	0.008	39.314
<b>Sumatoria</b>	132.950	20.240	14.780	832.750	14.170	1.570	2.940	0.017	0.772	1.030	0.746	0.720	0.234	671.900
<b>Varianza</b>	59.644	0.889	0.675	37.192	0.424	0.002	0.022	0.000	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	15.691
<b>Desviación Estándar</b>	7.723	0.943	0.822	6.098	0.651	0.048	0.147	0.000	0.061	0.033	0.029	0.013	0.012	3.961
<b>Coefficiente de Variación</b>	98.752	79.180	94.509	12.450	78.159	51.437	85.173	0.000	135.123	53.948	65.543	29.549	90.504	10.022
<b>Rango Inter cuartil</b>	6.920	1.255	0.810	5.640	0.480	0.065	0.185	0.000	0.065	0.040	0.041	0.020	0.014	4.250
<b>Rango</b>	25.590	2.890	3.420	21.880	2.510	0.160	0.480	0.000	0.189	0.130	0.106	0.040	0.039	12.900
<b>Percentil 10</b>	2.608	0.402	0.248	36.740	0.410	0.048	0.044	0.001	0.001	0.028	0.020	0.030	0.001	30.740
<b>Percentil 25</b>	3.190	0.560	0.315	47.320	0.445	0.055	0.075	0.001	0.010	0.035	0.025	0.030	0.006	37.850
<b>Percentil 50</b>	4.420	0.740	0.690	51.000	0.600	0.070	0.110	0.001	0.010	0.050	0.029	0.040	0.010	41.300
<b>Percentil 75</b>	10.110	1.815	1.125	52.960	0.925	0.120	0.260	0.001	0.075	0.075	0.065	0.050	0.020	42.100
<b>Percentil 95</b>	27.990	3.220	3.660	53.740	2.920	0.200	0.500	0.001	0.190	0.150	0.125	0.070	0.040	42.600
<b>Percentil 98</b>	27.990	3.220	3.660	53.740	2.920	0.200	0.500	0.001	0.190	0.150	0.125	0.070	0.040	42.600
<b>Percentil 99</b>	27.990	3.220	3.660	53.740	2.920	0.200	0.500	0.001	0.190	0.150	0.125	0.070	0.040	42.600

Tabla. 6.- Resultados estadísticos de Elementos Mayores de la columna Sur. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Muestra	Este	Norte	Cota	Ubicación	Descripción	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	Cr2O3 %	TiO2 %	MnO %	P2O5 %	SrO %	BaO %	LOI %	Total %
C108402	336153	8202847	4841	HUANACAMAYA	WACKSTONE	4.62	0.53	0.35	51.88	0.45	0.05	0.03	0.005	0.01	0.03	0.03	0.04	0.005	41.5	99.51
C108404	336132	8202839	4843	HUANACAMAYA	PACKSTONE	3.94	0.58	0.33	51.74	0.45	0.07	0.08	0.005	0.01	0.03	0.024	0.03	0.005	41.8	99.08
C108406	336105	8202829	4856	HUANACAMAYA	MUDSTONE	3.41	0.55	0.26	51.45	0.8	0.16	0.06	0.005	0.005	0.01	0.021	0.04	0.005	42	98.76
C108409	336080	8202823	4860	HUANACAMAYA	GRAINSTONE	2.39	0.27	0.41	52.39	0.49	0.04	0.01	0.005	0.005	0.03	0.023	0.04	0.005	42.8	98.87
C108410	336048	8202816	4866	HUANACAMAYA	MUDSTONE	2.52	0.35	0.19	52.5	0.51	0.06	0.02	0.005	0.005	0.01	0.021	0.05	0.005	42.6	98.82
C108412	336022	8202810	4877	HUANACAMAYA	MUDSTONE	3.78	0.73	0.66	51.69	0.5	0.04	0.03	0.005	0.01	0.08	0.033	0.03	0.005	41.8	99.38
C108413	336004	8202789	4914	HUANACAMAYA	GRAINSTONE	2.19	0.26	0.37	52.85	0.49	0.08	0.02	0.005	0.005	0.02	0.026	0.03	0.005	42.9	99.23
C108417	335983	8202785	4916	HUANACAMAYA	GRAINSTONE	3.29	0.65	0.74	51.41	0.6	0.06	0.05	0.005	0.005	0.02	0.044	0.03	0.005	41.9	98.78
C108420	335970	8202768	4918	HUANACAMAYA	MUDSTONE	4.34	0.77	0.83	51.65	0.53	0.13	0.06	0.005	0.01	0.06	0.031	0.04	0.005	41.4	99.84
C108421	335950	8202762	4918	HUANACAMAYA	GRAINSTONE	9.5	1.05	1.15	48.22	0.72	0.08	0.19	0.005	0.02	0.11	0.053	0.04	0.005	38.8	99.92
C108424	335950	8202743	4920	HUANACAMAYA	PACKSTONE	8.81	2.35	1.13	46.94	0.6	0.1	0.41	0.005	0.09	0.11	0.082	0.03	0.01	38.4	99.05
C108425	335932	8202735	4921	HUANACAMAYA	GRAINSTONE	13.43	3.26	3.16	42.96	0.45	0.15	0.65	0.005	0.14	0.16	0.105	0.03	0.005	35.3	99.8
C108427	335932	8202720	4925	HUANACAMAYA	MUDSTONE	5.64	0.94	0.51	50.92	0.56	0.17	0.16	0.005	0.04	0.04	0.038	0.05	0.005	40.7	99.76

Tabla. 7.- Se muestra los resultados de los elementos mayores correspondientes a la columna Huanacamaya levantada, en la cual podemos observar que la muestra C108425 presenta el Valor más alto de SiO<sub>2</sub> y a la vez tiene los menores valores para el CaO y de LOI, dicha muestra fue tomada en un afloramiento de 2 Metros de Caliza Grainstone que se ubica entre en cuarto y quinto nivel silicoclástico, pudiendo haber sido una zona de barrera en la zona marina y asimilando SiO<sub>2</sub> de los estratos adyacentes de Areniscas y Limos. Caso contrario a lo que ocurre en la muestra C108413 en la cual tenemos el menor valor de SiO<sub>2</sub> y los mayores valores para el CaO y LOI. En todos los valores se puede observar que los valores de MgO en son muy bajos (menor a 1%) por lo cual se verifica lo interpretado en la Fig. 10 en donde se menciona que todas las muestras analizadas son Calizas.

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>SiO2</b>	<b>Al2O3</b>	<b>Fe2O3</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>Na2O</b>	<b>K2O</b>	<b>Cr2O3</b>	<b>TiO2</b>	<b>MnO</b>	<b>P2O5</b>	<b>SrO</b>	<b>BaO</b>	<b>LOI</b>
	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>Mínimo</b>	2.190	0.260	0.190	42.960	0.450	0.040	0.010	0.005	0.005	0.010	0.021	0.030	0.005	35.300
<b>Máximo</b>	13.430	3.260	3.160	52.850	0.800	0.170	0.650	0.005	0.140	0.160	0.105	0.050	0.010	42.900
<b>Promedio</b>	5.220	0.945	0.776	50.508	0.550	0.092	0.136	0.005	0.027	0.055	0.041	0.037	0.005	40.915
<b>Mediana</b>	3.940	0.650	0.510	51.650	0.510	0.080	0.060	0.005	0.010	0.030	0.031	0.040	0.005	41.800
<b>Promedio Geométrico</b>	4.465	0.709	0.574	50.430	0.541	0.081	0.066	0.005	0.013	0.038	0.036	0.036	0.005	40.859
<b>Sumatoria</b>	67.860	12.290	10.090	656.600	7.150	1.190	1.770	0.065	0.355	0.710	0.531	0.480	0.070	531.900
<b>Varianza</b>	11.260	0.771	0.610	7.992	0.012	0.002	0.036	0.000	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	4.750
<b>Desviación Estándar</b>	3.356	0.878	0.781	2.827	0.107	0.046	0.189	0.000	0.041	0.047	0.026	0.008	0.001	2.179
<b>Coefficiente de Variación</b>	64.282	92.862	100.668	5.597	19.512	50.427	139.049	0.000	151.470	85.756	62.664	20.341	25.754	5.327
<b>Rango Intercuartil</b>	4.320	0.555	0.640	2.565	0.130	0.085	0.150	0.000	0.025	0.075	0.025	0.010	0.000	2.550
<b>Rango</b>	11.240	3.000	2.970	9.890	0.350	0.130	0.640	0.000	0.135	0.150	0.084	0.020	0.005	7.600
<b>Percentil 10</b>	2.270	0.264	0.218	44.552	0.450	0.040	0.014	0.005	0.005	0.010	0.021	0.030	0.005	36.540
<b>Percentil 25</b>	2.905	0.440	0.340	49.570	0.470	0.055	0.025	0.005	0.005	0.020	0.024	0.030	0.005	39.750
<b>Percentil 50</b>	3.940	0.650	0.510	51.650	0.510	0.080	0.060	0.005	0.010	0.030	0.031	0.040	0.005	41.800
<b>Percentil 75</b>	7.225	0.995	0.980	52.135	0.600	0.140	0.175	0.005	0.030	0.095	0.049	0.040	0.005	42.300
<b>Percentil 95</b>	13.430	3.260	3.160	52.850	0.800	0.170	0.650	0.005	0.140	0.160	0.105	0.050	0.010	42.900
<b>Percentil 98</b>	13.430	3.260	3.160	52.850	0.800	0.170	0.650	0.005	0.140	0.160	0.105	0.050	0.010	42.900
<b>Percentil 99</b>	13.430	3.260	3.160	52.850	0.800	0.170	0.650	0.005	0.140	0.160	0.105	0.050	0.010	42.900

**Tabla. 8.- Resultados estadísticos de Elementos Mayores de la columna Huanacamaya. (Amorós Oscar, 2014)**

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Muestra	Este	Norte	Cota	Ubicación	Descripción	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	Cr2O3 %	TiO2 %	MnO %	P2O5 %	SrO %	BaO %	LOI %	Total %
C108429	332420	8200883	4794	YUNGA	WACKESTONE	6.29	0.66	0.22	50.8	0.54	0.08	0.05	0.005	0.01	0.02	0.026	0.05	0.005	40.8	99.53
C108433	332420	8200864	4805	YUNGA	PACKSTONE	5.2	0.63	0.41	51.45	0.61	0.06	0.06	0.005	0.02	0.02	0.038	0.05	0.01	41.2	99.76
C108434	332394	8200843	4810	YUNGA	WACKESTONE	7.26	0.86	0.41	49.84	0.53	0.24	0.1	0.005	0.03	0.03	0.025	0.04	0.005	40.1	99.45
C108441	332350	8200758	4837	YUNGA	GRAINSTONE	2.28	0.36	0.16	52.8	0.53	0.09	0.05	0.005	0.005	0.01	0.025	0.04	0.005	42.7	99.03
C108442	332348	8200747	4834	YUNGA	MUDSTONE	1.77	0.34	0.17	53.63	0.53	0.11	0.03	0.005	0.005	0.02	0.019	0.04	0.005	42.9	99.54
C108444	332309	8200736	4842	YUNGA	MUDSTONE	2.22	0.46	0.43	51.44	0.71	0.09	0.06	0.005	0.005	0.07	0.022	0.03	0.005	42.6	98.11
C108446	332289	8200725	4843	YUNGA	GRAINSTONE	4.97	0.72	0.84	49.76	0.59	0.06	0.12	0.005	0.01	0.08	0.069	0.03	0.005	41	98.23
C108447	332289	8200717	4848	YUNGA	PACKSTONE	11.55	1.82	1.58	44.81	0.62	0.07	0.28	0.005	0.07	0.11	0.105	0.03	0.005	37.3	98.33
C108448	332290	8200709	4849	YUNGA	MUDSTONE	6.6	1.11	0.76	49.53	0.54	0.07	0.14	0.005	0.04	0.05	0.051	0.04	0.005	40.2	99.12
C108450	332325	8200656	4855	YUNGA	PACKSTONE	4.66	0.76	0.82	51.27	0.43	0.05	0.03	0.005	0.02	0.08	0.035	0.02	0.005	41.3	99.47
C108451	332334	8200644	4856	YUNGA	WACKESTONE	4.8	0.77	0.5	51.37	0.49	0.07	0.09	0.005	0.02	0.04	0.031	0.04	0.005	41.3	99.51
C108453	332356	8200617	4859	YUNGA	PACKSTONE	9.03	1.48	0.78	48.07	0.62	0.07	0.23	0.005	0.06	0.04	0.049	0.04	0.005	38.9	99.35
C108455	332370	8200616	4860	YUNGA	MUDSTONE	5.51	0.68	0.39	50.16	0.54	0.06	0.06	0.005	0.01	0.03	0.034	0.04	0.005	41	98.49

**Tabla. 9.-** Se muestra los resultados de los elementos mayores correspondientes a la columna Yunga levantada, en la cual podemos observar que la muestra C108447 presenta el Valor más alto de SiO<sub>2</sub> y a la vez tiene los menores valores para el CaO y de LOI, dicha muestra fue entre el segundo y tercer nivel siloclástico de areniscas. Caso contrario a lo que ocurre en la muestra C108444 en la cual tenemos el menor valor de SiO<sub>2</sub> y los mayores valores para el CaO y LOI. En todos los valores se puede observar que los valores de MgO son muy bajos (menor a 1%) por lo cual se verifica lo interpretado en la Fig. 10 en donde se menciona que todas las muestras analizadas son Calizas.

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>SiO2</b>	<b>Al2O3</b>	<b>Fe2O3</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>Na2O</b>	<b>K2O</b>	<b>Cr2O3</b>	<b>TiO2</b>	<b>MnO</b>	<b>P2O5</b>	<b>SrO</b>	<b>BaO</b>	<b>LOI</b>
	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>Mínimo</b>	1.770	0.340	0.160	44.810	0.430	0.050	0.030	0.005	0.005	0.010	0.019	0.020	0.005	37.300
<b>Máximo</b>	11.550	1.820	1.580	53.630	0.710	0.240	0.280	0.005	0.070	0.110	0.105	0.050	0.010	42.900
<b>Promedio</b>	5.549	0.819	0.575	50.379	0.560	0.086	0.100	0.005	0.023	0.046	0.041	0.038	0.005	40.869
<b>Mediana</b>	5.200	0.720	0.430	50.800	0.540	0.070	0.060	0.005	0.020	0.040	0.034	0.040	0.005	41.000
<b>Promedio Geométrico</b>	4.883	0.732	0.470	50.333	0.556	0.079	0.079	0.005	0.016	0.037	0.036	0.037	0.005	40.842
<b>Sumatoria</b>	72.140	10.650	7.470	654.930	7.280	1.120	1.300	0.065	0.305	0.600	0.529	0.490	0.070	531.300
<b>Varianza</b>	7.547	0.183	0.150	4.870	0.005	0.002	0.006	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	2.387
<b>Desviación Estándar</b>	2.747	0.427	0.387	2.207	0.070	0.049	0.077	0.000	0.021	0.030	0.024	0.008	0.001	1.545
<b>Coefficiente de Variación</b>	49.507	52.150	67.291	4.381	12.500	56.772	76.920	0.000	90.578	65.323	58.580	22.075	25.754	3.781
<b>Rango Intercuartil</b>	3.460	0.440	0.495	1.800	0.085	0.030	0.080	0.000	0.028	0.055	0.025	0.010	0.000	1.800
<b>Rango</b>	9.780	1.480	1.420	8.820	0.280	0.190	0.250	0.000	0.065	0.100	0.086	0.030	0.005	5.600
<b>Percentil 10</b>	1.950	0.348	0.164	46.114	0.454	0.054	0.030	0.005	0.005	0.014	0.020	0.024	0.005	37.940
<b>Percentil 25</b>	3.470	0.545	0.305	49.645	0.530	0.060	0.050	0.005	0.008	0.020	0.025	0.030	0.005	40.150
<b>Percentil 50</b>	5.200	0.720	0.430	50.800	0.540	0.070	0.060	0.005	0.020	0.040	0.034	0.040	0.005	41.000
<b>Percentil 75</b>	6.930	0.985	0.800	51.445	0.615	0.090	0.130	0.005	0.035	0.075	0.050	0.040	0.005	41.950
<b>Percentil 95</b>	11.550	1.820	1.580	53.630	0.710	0.240	0.280	0.005	0.070	0.110	0.105	0.050	0.010	42.900
<b>Percentil 98</b>	11.550	1.820	1.580	53.630	0.710	0.240	0.280	0.005	0.070	0.110	0.105	0.050	0.010	42.900
<b>Percentil 99</b>	11.550	1.820	1.580	53.630	0.710	0.240	0.280	0.005	0.070	0.110	0.105	0.050	0.010	42.900

Tabla. 10.- Resultados estadísticos de Elementos Mayores de la columna Yunga. (Amorós Oscar, 2014)

### **5.2.3 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MENORES**

Para Analizar los resultados de elementos menores en cada columna los datos se han dividido en 3 tablas cada una las cuales son:

- Tabla de elementos Menores.
- Tabla de Elementos presentes en elementos Mayores.
- Tabla de elementos pertenecientes Tierras Raras.

El motivo por el cual se desarrolló la división es para poder realizar una mejor interpretación de los elementos químicos.

Para todas las tablas se ha realizado un análisis estadístico de los siguientes valores:

- Valor Mínimo
- Valor Máximo
- Valor Promedio
- Mediana
- Promedio Geométrico
- Sumatoria
- Varianza
- Desviación Estándar
- Coeficiente de Variación
- Rango Intercuartil
- Rango
- Percentil 10
- Percentil 25
- Percentil 50

- Percentil 75
- Percentil 95
- Percentil 98
- Percentil 99

Se están Analizando 18 datos estadísticos, los cuales van a ser interpretados de manera individual en cada tabla ya que adicional se tiene más de un elemento asociado con valores anómalos o solo son datos puntuales sin presentar relevancia.

En cada tabla se ha colocado un diagrama de barras al costado de cada resultado, para así poder tener una interpretación visual de los valores más elevados.

En la tabla se ve una secuencia de colores que van desde el color rojo (valores más bajos) hasta el color verde (valor más alto) teniendo un total de 5 tonalidades de colores.

Para la interpretación de los datos se va a verificar la ubicación de la muestra dentro del nivel estratigráfico y posibles causas de poder tener algún valor anómalo o su relación con algún evento de sedimentación adicional de correlacionar los valores entre las 4 columnas levantadas.

5.2.3.1 COLUMNA NORTE

Sample	Ubicación	Ba ppm	Mo ppm	Sn ppm	Sr ppm	W ppm	Au ppb	Ag ppm	As ppm	Bi ppm	Cu ppm	Hg ppm	Mn ppm	Li ppm	Pb ppm	Sb ppm
C108312	NORTE	203.00	1.00	1.00	346.00	0.50	2.50	0.02	6.00	0.08	6.29	0.01	343.00	1.60	10.35	0.09
C108313	NORTE	293.00	1.00	0.50	271.00	0.50	2.50	0.06	5.00	0.02	4.09	0.11	661.00	0.60	24.20	0.13
C108315	NORTE	340.00	1.00	0.50	695.00	0.50	2.50	0.03	4.00	0.02	4.28	0.01	382.00	1.30	12.65	0.09
C108317	NORTE	134.00	1.00	0.50	456.00	0.50	2.50	0.03	5.00	0.03	3.99	0.03	586.00	1.00	9.43	0.20
C108319	NORTE	23.40	1.00	0.50	438.00	0.50	2.50	0.04	3.00	0.01	1.45	0.09	315.00	0.40	11.70	0.73
C108321	NORTE	35.30	1.00	0.50	441.00	1.00	2.50	0.05	5.00	0.03	4.06	0.61	386.00	0.50	19.10	2.23
C108323	NORTE	21.90	1.00	0.50	359.00	1.00	2.50	0.01	2.00	0.02	2.97	0.02	205.00	0.60	4.38	0.23
C108325	NORTE	1805.00	1.00	0.50	398.00	1.00	2.50	0.02	5.00	0.01	1.89	0.06	285.00	0.30	9.87	0.17
C108327	NORTE	30.40	1.00	0.50	329.00	1.00	2.50	0.01	4.00	0.01	2.55	0.05	211.00	0.60	4.53	0.32
C108329	NORTE	15.90	1.00	0.50	347.00	1.00	2.50	0.02	3.00	0.01	2.10	0.01	256.00	0.70	4.44	0.09
C108331	NORTE	16.80	1.00	0.50	326.00	1.00	2.50	0.01	2.00	0.02	2.38	0.03	675.00	1.00	9.24	0.07
C108333	NORTE	80.60	1.00	0.50	290.00	1.00	4.00	0.04	10.00	0.03	6.27	0.14	695.00	0.50	21.70	0.12
C108335	NORTE	43.20	1.00	0.50	355.00	1.00	2.50	0.02	3.00	0.03	3.52	0.01	705.00	1.20	13.20	0.07
C108337	NORTE	281.00	1.00	0.50	290.00	1.00	2.50	0.04	4.00	0.01	6.59	0.07	562.00	0.30	17.35	0.16
C108339	NORTE	148.50	1.00	0.50	363.00	1.00	2.50	0.02	4.00	0.02	3.70	0.02	363.00	0.60	10.75	0.12

Tabla 11.- Tabla de Elementos Menores de Columna Norte. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>Ba ppm</b>	<b>Mo ppm</b>	<b>Sn ppm</b>	<b>Sr ppm</b>	<b>W ppm</b>	<b>Au ppb</b>	<b>Ag ppm</b>	<b>As ppm</b>	<b>Bi ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Hg ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Li ppm</b>	<b>Pb ppm</b>	<b>Sb ppm</b>
<b>Mínimo</b>	15.900	1.000	0.500	271.000	0.500	2.500	0.008	2.000	0.010	1.450	0.006	205.000	0.300	4.380	0.069
<b>Máximo</b>	1805.000	1.000	1.000	695.000	1.000	4.000	0.059	10.000	0.080	6.590	0.606	705.000	1.600	24.200	2.230
<b>Promedio</b>	231.467	1.000	0.533	380.267	0.833	2.600	0.026	4.333	0.023	3.742	0.084	442.000	0.747	12.193	0.322
<b>Mediana</b>	80.600	1.000	0.500	355.000	1.000	2.500	0.021	4.000	0.020	3.700	0.031	382.000	0.600	10.750	0.133
<b>Promedio Geométrico</b>	86.016	1.000	0.524	369.803	0.794	2.580	0.022	3.991	0.019	3.414	0.037	405.421	0.662	10.727	0.177
<b>Sumatoria</b>	3472.000	15.000	8.000	5704.000	12.500	39.000	0.393	65.000	0.350	56.130	1.263	6630.000	11.200	182.890	4.837
<b>Varianza</b>	202006.790	0.000	0.017	10686.210	0.060	0.150	0.000	3.810	0.000	2.634	0.022	34160.429	0.150	36.959	0.305
<b>Desviación Estandar</b>	449.452	0.000	0.129	103.374	0.244	0.387	0.016	1.952	0.018	1.623	0.150	184.825	0.387	6.079	0.553
<b>Coefficiente de Variación</b>	194.176	0.000	24.206	27.185	29.277	14.896	61.564	45.042	75.400	43.368	177.954	41.816	51.837	49.861	171.399
<b>Rango Intercuartil</b>	257.600	0.000	0.000	112.000	0.500	0.000	0.022	2.000	0.020	1.900	0.081	376.000	0.500	8.110	0.141
<b>Rango</b>	1789.100	0.000	0.500	424.000	0.500	1.500	0.051	8.000	0.070	5.140	0.600	500.000	1.300	19.820	2.161
<b>Percentil 10</b>	16.440	1.000	0.500	282.400	0.500	2.500	0.009	2.000	0.010	1.714	0.007	208.600	0.300	4.416	0.070
<b>Percentil 25</b>	23.400	1.000	0.500	326.000	0.500	2.500	0.015	3.000	0.010	2.380	0.013	285.000	0.500	9.240	0.093
<b>Percentil 50</b>	80.600	1.000	0.500	355.000	1.000	2.500	0.021	4.000	0.020	3.700	0.031	382.000	0.600	10.750	0.133
<b>percentil 75</b>	281.000	1.000	0.500	438.000	1.000	2.500	0.037	5.000	0.030	4.280	0.094	661.000	1.000	17.350	0.234
<b>Percentil 95</b>	1805.000	1.000	1.000	695.000	1.000	4.000	0.059	10.000	0.080	6.590	0.606	705.000	1.600	24.200	2.230
<b>Percentil 98</b>	1805.000	1.000	1.000	695.000	1.000	4.000	0.059	10.000	0.080	6.590	0.606	705.000	1.600	24.200	2.230
<b>Percentil 99</b>	1805.000	1.000	1.000	695.000	1.000	4.000	0.059	10.000	0.080	6.590	0.606	705.000	1.600	24.200	2.230

Tabla. 12.- Resultados estadísticos de Elementos Menores de la columna Norte. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Sample	Ubicación	Fe %	Al %	Mg %	K %	Na %	CO2 %	C %	S %
C108312	NORTE	0.60	0.20	0.27	0.09	0.04	35.20	10.10	0.22
C108313	NORTE	0.57	0.08	0.28	0.03	0.03	39.60	11.55	0.15
C108315	NORTE	0.70	0.08	0.39	0.02	0.03	37.30	11.10	0.34
C108317	NORTE	0.69	0.08	0.38	0.04	0.03	37.50	11.05	0.19
C108319	NORTE	0.20	0.04	0.22	0.02	0.03	41.20	11.45	0.02
C108321	NORTE	0.37	0.07	0.27	0.03	0.03	41.60	11.85	0.02
C108323	NORTE	0.21	0.06	0.22	0.02	0.03	40.60	11.20	0.01
C108325	NORTE	0.21	0.03	0.22	0.01	0.03	41.30	11.70	0.05
C108327	NORTE	0.21	0.05	0.24	0.02	0.03	40.20	11.90	0.02
C108329	NORTE	0.18	0.07	0.25	0.02	0.03	39.40	11.65	0.01
C108331	NORTE	0.47	0.13	0.25	0.04	0.03	40.70	11.25	0.02
C108333	NORTE	0.84	0.05	0.30	0.02	0.03	40.80	11.45	0.12
C108335	NORTE	0.81	0.11	0.35	0.03	0.03	37.40	11.10	0.04
C108337	NORTE	0.38	0.03	0.19	0.01	0.03	40.40	11.75	0.02
C108339	NORTE	0.32	0.05	0.26	0.02	0.03	40.20	11.30	0.07

Tabla 13.- Tabla de elementos Menores Porcentuales en la columna Norte. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>Fe %</b>	<b>Al %</b>	<b>Mg %</b>	<b>K %</b>	<b>Na %</b>	<b>CO2 %</b>	<b>C %</b>	<b>S %</b>
<b>Mínimo</b>	0.180	0.030	0.190	0.010	0.030	35.200	10.100	0.010
<b>Máximo</b>	0.840	0.200	0.390	0.090	0.040	41.600	11.900	0.340
<b>Promedio</b>	0.451	0.075	0.273	0.028	0.031	39.560	11.360	0.087
<b>Mediana</b>	0.380	0.070	0.260	0.020	0.030	40.200	11.450	0.040
<b>Promedio Geométrico</b>	0.392	0.066	0.267	0.024	0.031	39.518	11.351	0.047
<b>Sumatoria</b>	6.760	1.130	4.090	0.420	0.460	593.400	170.400	1.300
<b>Varianza</b>	0.055	0.002	0.004	0.000	0.000	3.455	0.200	0.010
<b>Desviación Estandar</b>	0.235	0.044	0.059	0.019	0.003	1.859	0.447	0.098
<b>Coefficiente de Variación</b>	52.224	58.697	21.806	69.095	8.420	4.699	3.934	113.529
<b>Rango Intercuartil</b>	0.480	0.030	0.080	0.010	0.000	3.300	0.600	0.130
<b>Rango</b>	0.660	0.170	0.200	0.080	0.010	6.400	1.800	0.330
<b>Percentil 10</b>	0.192	0.030	0.208	0.010	0.030	36.460	10.670	0.010
<b>Percentil 25</b>	0.210	0.050	0.220	0.020	0.030	37.500	11.100	0.020
<b>Percentil 50</b>	0.380	0.070	0.260	0.020	0.030	40.200	11.450	0.040
<b>percentil 75</b>	0.690	0.080	0.300	0.030	0.030	40.800	11.700	0.150
<b>Percentil 95</b>	0.840	0.200	0.390	0.090	0.040	41.600	11.900	0.340
<b>Percentil 98</b>	0.840	0.200	0.390	0.090	0.040	41.600	11.900	0.340
<b>Percentil 99</b>	0.840	0.200	0.390	0.090	0.040	41.600	11.900	0.340

Tabla. 14.- Resultados estadísticos de elementos menores Porcentuales en la Columna Norte. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Sample	Ubicación	U ppm	Ce ppm	Er ppm	Eu ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nd ppm	Pr ppm	Sm ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	Yb ppm
C108312	NORTE	0.66	25.9	0.96	0.46	0.34	16.4	0.13	11.6	3.29	2.12	0.25	2.7	0.14	0.83
C108313	NORTE	1.09	7.3	0.42	0.17	0.14	5.8	0.06	3.8	1.04	0.72	0.1	1.07	0.06	0.39
C108315	NORTE	0.38	8.6	0.47	0.24	0.17	7.2	0.06	4.9	1.28	0.93	0.13	0.92	0.07	0.41
C108317	NORTE	0.32	9.3	0.5	0.25	0.19	6.4	0.06	4.9	1.3	0.99	0.14	1.09	0.08	0.43
C108319	NORTE	0.34	3.4	0.15	0.08	0.06	2.1	0.02	1.7	0.47	0.34	0.05	0.29	0.02	0.14
C108321	NORTE	0.42	10.2	0.59	0.28	0.22	4.9	0.07	6.1	1.38	1.3	0.17	0.83	0.08	0.49
C108323	NORTE	0.31	5.5	0.25	0.11	0.09	2.8	0.03	2.9	0.71	0.57	0.07	0.46	0.04	0.23
C108325	NORTE	1.1	3.5	0.2	0.13	0.08	1.9	0.02	2.3	0.51	0.49	0.06	0.21	0.03	0.17
C108327	NORTE	0.33	4.1	0.18	0.08	0.07	2.2	0.03	2.2	0.53	0.42	0.05	0.29	0.03	0.19
C108329	NORTE	0.29	7.5	0.37	0.19	0.14	3.6	0.05	4.3	0.98	0.88	0.11	0.42	0.05	0.35
C108331	NORTE	0.4	8.1	0.32	0.17	0.12	4	0.04	4.4	1.07	0.84	0.1	0.68	0.04	0.31
C108333	NORTE	0.49	8.6	0.32	0.19	0.12	4.3	0.04	5.2	1.2	0.96	0.1	0.54	0.04	0.28
C108335	NORTE	0.7	11.2	0.56	0.33	0.21	5.8	0.08	6.5	1.45	1.37	0.18	0.94	0.08	0.51
C108337	NORTE	0.31	3.9	0.17	0.09	0.07	2	0.02	2	0.46	0.35	0.05	0.19	0.02	0.16
C108339	NORTE	0.34	4.3	0.18	0.09	0.06	2.2	0.03	2.2	0.53	0.41	0.05	0.47	0.03	0.18

Tabla 15.- Tabla de Resultados de Tierras Raras de la columna Norte. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>U ppm</b>	<b>Ce ppm</b>	<b>Er ppm</b>	<b>Eu ppm</b>	<b>Ho ppm</b>	<b>La ppm</b>	<b>Lu ppm</b>	<b>Nd ppm</b>	<b>Pr ppm</b>	<b>Sm ppm</b>	<b>Tb ppm</b>	<b>Th ppm</b>	<b>Tm ppm</b>	<b>Yb ppm</b>
<b>Mínimo</b>	0.290	3.400	0.150	0.080	0.060	1.900	0.020	1.700	0.460	0.340	0.050	0.190	0.020	0.140
<b>Máximo</b>	1.100	25.900	0.960	0.460	0.340	16.400	0.130	11.600	3.290	2.120	0.250	2.700	0.140	0.830
<b>Promedio</b>	0.499	8.093	0.376	0.191	0.139	4.773	0.049	4.333	1.080	0.846	0.107	0.740	0.054	0.338
<b>Mediana</b>	0.380	7.500	0.320	0.170	0.120	4.000	0.040	4.300	1.040	0.840	0.100	0.540	0.040	0.310
<b>Promedio Geométrico</b>	0.448	6.928	0.326	0.166	0.121	3.933	0.043	3.776	0.926	0.736	0.094	0.576	0.047	0.298
<b>Sumatoria</b>	7.480	121.400	5.640	2.860	2.080	71.600	0.740	65.000	16.200	12.690	1.610	11.100	0.810	5.070
<b>Varianza</b>	0.074	30.849	0.048	0.012	0.006	13.448	0.001	6.427	0.503	0.231	0.003	0.389	0.001	0.034
<b>Desviación Estándar</b>	0.272	5.554	0.219	0.107	0.078	3.667	0.029	2.535	0.710	0.481	0.059	0.623	0.032	0.184
<b>Coficiente de Variación</b>	54.482	68.627	58.197	56.365	55.918	76.825	59.576	58.502	65.701	56.848	54.606	84.231	59.309	54.384
<b>Rango Intercuartil</b>	0.340	5.200	0.320	0.160	0.120	3.600	0.030	3.000	0.770	0.570	0.090	0.650	0.050	0.250
<b>Rango</b>	0.810	22.500	0.810	0.380	0.280	14.500	0.110	9.900	2.830	1.780	0.200	2.510	0.120	0.690
<b>Percentil 10</b>	0.302	3.460	0.162	0.080	0.060	1.960	0.020	1.880	0.466	0.346	0.050	0.202	0.020	0.152
<b>Percentil 25</b>	0.320	4.100	0.180	0.090	0.070	2.200	0.030	2.200	0.530	0.420	0.050	0.290	0.030	0.180
<b>Percentil 50</b>	0.380	7.500	0.320	0.170	0.120	4.000	0.040	4.300	1.040	0.840	0.100	0.540	0.040	0.310
<b>percentil 75</b>	0.660	9.300	0.500	0.250	0.190	5.800	0.060	5.200	1.300	0.990	0.140	0.940	0.080	0.430
<b>Percentil 95</b>	1.100	25.900	0.960	0.460	0.340	16.400	0.130	11.600	3.290	2.120	0.250	2.700	0.140	0.830
<b>Percentil 98</b>	1.100	25.900	0.960	0.460	0.340	16.400	0.130	11.600	3.290	2.120	0.250	2.700	0.140	0.830
<b>Percentil 99</b>	1.100	25.900	0.960	0.460	0.340	16.400	0.130	11.600	3.290	2.120	0.250	2.700	0.140	0.830

Tabla. 16.- Resultados estadísticos de Elementos de Tierras Raras de la columna Norte. (Amorós Oscar, 2014)

5.2.3.2 COLUMNA SUR

Sample	Ubicación	Ba ppm	Mo ppm	Sn ppm	Sr ppm	W ppm	Au ppb	Ag ppm	As ppm	Bi ppm	Cu ppm	Hg ppm	Mn ppm	Li ppm	Pb ppm	Sb ppm
C108340	SUR	133.50	1.00	0.50	250.00	1.00	2.50	0.04	5.00	0.02	3.08	0.14	840.00	0.50	37.90	0.05
C108342	SUR	81.30	2.00	0.50	282.00	1.00	2.50	0.03	6.00	0.03	3.32	0.20	1140.00	0.70	22.10	0.10
C108344	SUR	140.50	1.00	0.50	415.00	1.00	2.50	0.02	5.00	0.04	4.19	0.09	517.00	0.90	85.30	0.03
C108346	SUR	92.50	1.00	0.50	552.00	1.00	2.50	0.02	15.00	0.05	6.46	0.12	592.00	1.70	78.40	0.06
C108348	SUR	348.00	1.00	1.00	643.00	1.00	2.50	0.02	7.00	0.05	5.42	0.02	297.00	3.50	14.00	0.07
C108350	SUR	417.00	1.00	0.50	403.00	1.00	2.50	0.02	8.00	0.04	5.48	0.13	408.00	2.40	40.60	0.07
C108352	SUR	386.00	1.00	0.50	270.00	1.00	2.50	0.04	5.00	0.02	4.33	0.02	400.00	0.70	9.31	0.11
C108354	SUR	119.50	1.00	0.50	461.00	1.00	2.50	0.01	6.00	0.01	2.28	0.02	270.00	0.80	7.40	0.15
C108356	SUR	47.70	1.00	0.50	394.00	1.00	2.50	0.01	4.00	0.01	1.83	0.05	266.00	0.60	5.51	0.11
C108358	SUR	99.30	1.00	0.50	526.00	1.00	2.50	0.01	8.00	0.03	2.71	0.40	362.00	0.80	12.50	0.03
C108360	SUR	50.30	1.00	0.50	487.00	1.00	2.50	0.01	4.00	0.01	2.08	0.05	163.00	0.60	3.45	0.02
C108362	SUR	30.90	1.00	0.50	333.00	1.00	2.50	0.01	5.00	0.01	2.19	0.07	596.00	0.90	14.95	0.13
C108364	SUR	173.50	1.00	0.50	437.00	1.00	2.50	0.01	2.00	0.01	2.12	0.05	290.00	0.80	6.14	0.12
C108366	SUR	84.80	1.00	0.50	331.00	1.00	2.50	0.01	5.00	0.01	2.36	0.07	216.00	0.40	14.95	0.07
C108368	SUR	51.80	1.00	0.50	329.00	1.00	2.50	0.01	2.00	0.01	2.50	0.06	552.00	0.50	7.77	0.07
C108370	SUR	75.80	1.00	0.50	720.00	1.00	2.50	0.01	5.00	0.03	4.05	0.07	496.00	0.80	7.74	0.29
C108372	SUR	273.00	1.00	0.50	319.00	1.00	2.50	0.02	8.00	0.01	2.35	0.06	535.00	0.30	13.90	0.38

Tabla 17.- Tabla de Elementos Menores de Columna Sur. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>Ba ppm</b>	<b>Mo ppm</b>	<b>Sn ppm</b>	<b>Sr ppm</b>	<b>W ppm</b>	<b>Au ppb</b>	<b>Ag ppm</b>	<b>As ppm</b>	<b>Bi ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Hg ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Li ppm</b>	<b>Pb ppm</b>	<b>Sb ppm</b>
<b>Minimo</b>	30.900	1.000	0.500	250.000	1.000	2.500	0.003	2.000	0.010	1.830	0.015	163.000	0.300	3.450	0.017
<b>Maximo</b>	417.000	2.000	1.000	720.000	1.000	2.500	0.039	15.000	0.050	6.460	0.399	1140.000	3.500	85.300	0.379
<b>Promedio</b>	153.259	1.059	0.529	420.706	1.000	2.500	0.015	5.882	0.023	3.338	0.094	467.059	0.994	22.466	0.108
<b>Mediana</b>	99.300	1.000	0.500	403.000	1.000	2.500	0.010	5.000	0.020	2.710	0.066	408.000	0.800	13.900	0.069
<b>Promedio Geometrico</b>	115.125	1.042	0.521	402.545	1.000	2.500	0.011	5.281	0.019	3.094	0.066	415.600	0.805	14.566	0.081
<b>Sumatoria</b>	2605.400	18.000	9.000	7152.000	17.000	42.500	0.261	100.000	0.390	56.750	1.599	7940.000	16.900	381.920	1.837
<b>Varianza</b>	15473.063	0.059	0.015	17515.346	0.000	0.000	0.000	8.735	0.000	1.985	0.009	59585.309	0.671	609.363	0.009
<b>Desviacion Estandar</b>	124.391	0.243	0.121	132.346	0.000	0.000	0.012	2.956	0.015	1.409	0.093	244.101	0.819	24.685	0.094
<b>Coefficiente de Variacion</b>	81.164	22.906	22.906	31.458	0.000	0.000	77.169	50.244	64.956	42.205	98.456	52.263	82.374	109.879	87.138
<b>Rango Intercuartil</b>	159.450	0.000	0.000	182.500	0.000	0.000	0.016	3.000	0.025	2.025	0.079	292.000	0.350	22.430	0.073
<b>Rango</b>	386.100	1.000	0.500	470.000	0.000	0.000	0.036	13.000	0.040	4.630	0.384	977.000	3.200	81.850	0.362
<b>Percentil 10</b>	44.340	1.000	0.500	266.000	1.000	2.500	0.003	2.000	0.010	2.030	0.016	205.400	0.380	5.098	0.028
<b>Percentil 25</b>	63.800	1.000	0.500	324.000	1.000	2.500	0.006	4.500	0.010	2.235	0.049	280.000	0.550	7.570	0.053
<b>Percentil 50</b>	99.300	1.000	0.500	403.000	1.000	2.500	0.010	5.000	0.020	2.710	0.066	408.000	0.800	13.900	0.069
<b>percentil 75</b>	223.250	1.000	0.500	506.500	1.000	2.500	0.022	7.500	0.035	4.260	0.128	572.000	0.900	30.000	0.126
<b>Percentil 95</b>	417.000	2.000	1.000	720.000	1.000	2.500	0.039	15.000	0.050	6.460	0.399	1140.000	3.500	85.300	0.379
<b>Percentil 98</b>	417.000	2.000	1.000	720.000	1.000	2.500	0.039	15.000	0.050	6.460	0.399	1140.000	3.500	85.300	0.379
<b>Percentil 99</b>	417.000	2.000	1.000	720.000	1.000	2.500	0.039	15.000	0.050	6.460	0.399	1140.000	3.500	85.300	0.379

Tabla 18.- Resultados estadísticos de Elementos Menores de la columna Sur. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Sample	Ubicación	Fe %	Al %	Mg %	K %	Na %	CO2 %	C %	S %
C108340	SUR	1.00	0.05	1.05	0.02	0.04	40.10	11.55	0.18
C108342	SUR	2.45	0.10	1.67	0.03	0.04	29.60	8.68	0.34
C108344	SUR	0.62	0.11	0.33	0.05	0.04	38.30	10.95	0.31
C108346	SUR	0.82	0.19	0.33	0.07	0.03	34.50	10.55	0.43
C108348	SUR	0.70	0.28	0.38	0.07	0.04	34.10	10.20	0.31
C108350	SUR	0.73	0.18	0.20	0.05	0.03	28.20	8.66	0.22
C108352	SUR	0.23	0.03	0.21	0.01	0.03	39.90	11.80	0.06
C108354	SUR	0.22	0.05	0.30	0.02	0.04	40.10	11.60	0.11
C108356	SUR	0.17	0.04	0.20	0.01	0.03	42.10	11.70	0.01
C108358	SUR	0.43	0.08	0.27	0.03	0.03	32.90	11.45	0.17
C108360	SUR	0.21	0.05	0.29	0.02	0.03	41.20	11.50	0.13
C108362	SUR	0.47	0.07	0.63	0.01	0.03	41.30	11.50	0.02
C108364	SUR	0.20	0.07	0.26	0.02	0.03	42.10	11.70	0.03
C108366	SUR	0.18	0.04	0.21	0.01	0.03	41.70	11.70	0.02
C108368	SUR	0.32	0.05	0.22	0.02	0.03	41.50	11.35	0.02
C108370	SUR	0.51	0.10	0.50	0.04	0.04	39.90	11.25	0.17
C108372	SUR	0.49	0.05	0.19	0.02	0.03	39.30	10.90	0.02

Tabla 19.- Tabla de elementos Menores Porcentuales en la columna Sur. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>Fe %</b>	<b>Al %</b>	<b>Mg %</b>	<b>K %</b>	<b>Na %</b>	<b>CO2 %</b>	<b>C %</b>	<b>S %</b>
<b>Minimo</b>	0.170	0.030	0.190	0.010	0.030	28.200	8.660	0.010
<b>Maximo</b>	2.450	0.280	1.670	0.070	0.040	42.100	11.800	0.430
<b>Promedio</b>	0.574	0.091	0.426	0.029	0.034	38.047	11.002	0.150
<b>Mediana</b>	0.470	0.070	0.290	0.020	0.030	39.900	11.450	0.130
<b>Promedio Geometrico</b>	0.433	0.074	0.339	0.024	0.033	37.776	10.957	0.085
<b>Sumatoria</b>	9.750	1.540	7.240	0.500	0.570	646.800	187.040	2.550
<b>Varianza</b>	0.297	0.005	0.149	0.000	0.000	19.909	0.961	0.018
<b>Desviacion Estandar</b>	0.545	0.067	0.386	0.020	0.005	4.462	0.980	0.133
<b>Coficiente de Variacion</b>	94.956	74.203	90.644	67.435	14.691	11.727	8.909	88.819
<b>Rango Intercuartil</b>	0.500	0.055	0.230	0.030	0.010	7.100	0.925	0.245
<b>Rango</b>	2.280	0.250	1.480	0.060	0.010	13.900	3.140	0.420
<b>Percentil 10</b>	0.178	0.038	0.198	0.010	0.030	29.320	8.676	0.018
<b>Percentil 25</b>	0.215	0.050	0.210	0.015	0.030	34.300	10.725	0.020
<b>Percentil 50</b>	0.470	0.070	0.290	0.020	0.030	39.900	11.450	0.130
<b>percentil 75</b>	0.715	0.105	0.440	0.045	0.040	41.400	11.650	0.265
<b>Percentil 95</b>	2.450	0.280	1.670	0.070	0.040	42.100	11.800	0.430
<b>Percentil 98</b>	2.450	0.280	1.670	0.070	0.040	42.100	11.800	0.430
<b>Percentil 99</b>	2.450	0.280	1.670	0.070	0.040	42.100	11.800	0.430

Tabla. 20.- Resultados estadísticos de elementos Menores Porcentuales en la columna Sur. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Sample	Ubicación	U ppm	Ce ppm	Er ppm	Eu ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nd ppm	Pr ppm	Sm ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	Yb ppm
C108340	SUR	0.94	4.2	0.3	0.11	0.1	3.5	0.04	2.7	0.66	0.5	0.07	0.46	0.04	0.28
C108342	SUR	0.92	16.6	0.89	0.57	0.34	14.8	0.12	11.3	2.61	2.13	0.27	1.81	0.12	0.8
C108344	SUR	0.33	10.1	0.61	0.31	0.21	6.8	0.07	6.4	1.52	1.28	0.17	1.11	0.08	0.52
C108346	SUR	0.69	13.6	0.78	0.57	0.29	10.8	0.1	9.2	2.16	1.69	0.23	1.74	0.1	0.69
C108348	SUR	0.65	15.4	0.84	0.35	0.3	11.5	0.13	9	2.28	1.71	0.22	2.34	0.12	0.81
C108350	SUR	0.84	15.6	0.95	0.38	0.32	11.6	0.14	9.8	2.35	1.83	0.24	2.24	0.13	0.95
C108352	SUR	0.93	2.7	0.22	0.08	0.08	1.6	0.03	1.7	0.39	0.35	0.05	0.15	0.03	0.21
C108354	SUR	0.26	4.2	0.2	0.09	0.06	2	0.03	2.3	0.53	0.43	0.05	0.4	0.02	0.16
C108356	SUR	0.28	3	0.15	0.06	0.05	1.8	0.02	1.6	0.41	0.32	0.04	0.28	0.02	0.14
C108358	SUR	0.33	10.5	0.57	0.36	0.2	4.8	0.06	5.9	1.36	1.25	0.17	0.9	0.07	0.46
C108360	SUR	0.27	5.2	0.24	0.11	0.08	2.7	0.03	2.8	0.68	0.53	0.07	0.42	0.03	0.23
C108362	SUR	0.36	4.6	0.23	0.11	0.08	2.3	0.03	2.5	0.6	0.48	0.06	0.41	0.03	0.21
C108364	SUR	0.38	4.3	0.2	0.09	0.07	2.1	0.03	2.3	0.56	0.46	0.05	0.31	0.03	0.18
C108366	SUR	0.47	2.9	0.14	0.06	0.05	1.6	0.02	1.5	0.37	0.3	0.04	0.22	0.02	0.15
C108368	SUR	0.29	4.5	0.21	0.1	0.07	2.2	0.03	2.4	0.57	0.45	0.06	0.37	0.03	0.19
C108370	SUR	0.57	15.8	0.74	0.42	0.27	8.1	0.1	9.4	2.12	1.93	0.23	1.47	0.1	0.67
C108372	SUR	0.28	4	0.16	0.09	0.06	2.2	0.02	2.1	0.5	0.42	0.05	0.34	0.02	0.15

Tabla 21.- Tabla de Resultados de Tierras Raras de la columna Sur. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>U ppm</b>	<b>Ce ppm</b>	<b>Er ppm</b>	<b>Eu ppm</b>	<b>Ho ppm</b>	<b>La ppm</b>	<b>Lu ppm</b>	<b>Nd ppm</b>	<b>Pr ppm</b>	<b>Sm ppm</b>	<b>Tb ppm</b>	<b>Th ppm</b>	<b>Tm ppm</b>	<b>Yb ppm</b>
<b>Minimo</b>	0.260	2.700	0.140	0.060	0.050	1.600	0.020	1.500	0.370	0.300	0.040	0.150	0.020	0.140
<b>Maximo</b>	0.940	16.600	0.950	0.570	0.340	14.800	0.140	11.300	2.610	2.130	0.270	2.340	0.130	0.950
<b>Promedio</b>	0.517	8.071	0.437	0.227	0.155	5.318	0.059	4.876	1.157	0.945	0.122	0.881	0.058	0.400
<b>Mediana</b>	0.380	4.600	0.240	0.110	0.080	2.700	0.030	2.700	0.660	0.500	0.070	0.420	0.030	0.230
<b>Promedio Geometrico</b>	0.461	6.521	0.346	0.166	0.121	3.906	0.046	3.784	0.904	0.737	0.095	0.618	0.046	0.317
<b>Sumatoria</b>	8.790	137.200	7.430	3.860	2.630	90.400	1.000	82.900	19.670	16.060	2.070	14.970	0.990	6.800
<b>Varianza</b>	0.067	28.661	0.090	0.033	0.012	19.247	0.002	12.442	0.686	0.454	0.008	0.564	0.002	0.079
<b>Desviacion Estandar</b>	0.259	5.354	0.301	0.181	0.110	4.387	0.042	3.527	0.828	0.674	0.087	0.751	0.041	0.281
<b>Coficiente de Variacion</b>	50.088	66.335	68.797	79.896	71.070	82.501	72.095	72.333	71.589	71.360	71.314	85.319	70.601	70.262
<b>Rango Inter cuartil</b>	0.480	10.400	0.560	0.280	0.215	7.400	0.070	6.900	1.625	1.275	0.175	1.280	0.075	0.510
<b>Rango</b>	0.680	13.900	0.810	0.510	0.290	13.200	0.120	9.800	2.240	1.830	0.230	2.190	0.110	0.810
<b>Percentil 10</b>	0.268	2.860	0.148	0.060	0.050	1.600	0.020	1.580	0.386	0.316	0.040	0.206	0.020	0.148
<b>Percentil 25</b>	0.285	4.100	0.200	0.090	0.065	2.050	0.030	2.200	0.515	0.425	0.050	0.325	0.025	0.170
<b>Percentil 50</b>	0.380	4.600	0.240	0.110	0.080	2.700	0.030	2.700	0.660	0.500	0.070	0.420	0.030	0.230
<b>percentil 75</b>	0.765	14.500	0.760	0.370	0.280	9.450	0.100	9.100	2.140	1.700	0.225	1.605	0.100	0.680
<b>Percentil 95</b>	0.940	16.600	0.950	0.570	0.340	14.800	0.140	11.300	2.610	2.130	0.270	2.340	0.130	0.950
<b>Percentil 98</b>	0.940	16.600	0.950	0.570	0.340	14.800	0.140	11.300	2.610	2.130	0.270	2.340	0.130	0.950
<b>Percentil 99</b>	0.940	16.600	0.950	0.570	0.340	14.800	0.140	11.300	2.610	2.130	0.270	2.340	0.130	0.950

Tabla. 22.- Resultados estadísticos de Elementos de Tierras Raras de la columna Sur. (Amorós Oscar, 2014)

5.2.3.3 COLUMNA HUANACAMAYA

Sample	Ubicación	Ba ppm	Mo ppm	Sn ppm	Sr ppm	W ppm	Au ppb	Ag ppm	As ppm	Bi ppm	Cu ppm	Hg ppm	Mn ppm	Li ppm	Pb ppm	Sb ppm
C108402	Huanacamaya	20.50	1.00	0.50	388.00	1.00	5.00	0.01	1.00	0.03	3.93	0.02	257.00	0.30	2.76	0.19
C108404	Huanacamaya	52.90	1.00	0.50	267.00	1.00	3.00	0.02	3.00	0.03	3.30	0.01	229.00	0.50	3.07	0.14
C108406	Huanacamaya	28.60	1.00	0.50	413.00	0.50	3.00	0.02	1.00	0.02	1.76	0.00	119.00	0.40	1.23	0.05
C108409	Huanacamaya	59.10	1.00	0.50	362.00	0.50	5.00	0.02	1.00	0.01	2.46	0.01	207.00	0.30	2.19	0.31
C108410	Huanacamaya	75.80	1.00	0.50	440.00	1.00	2.50	0.01	2.00	0.02	1.41	0.00	92.00	0.30	1.54	0.13
C108412	Huanacamaya	18.40	1.00	0.50	313.00	0.50	2.50	0.02	6.00	0.03	8.77	0.02	641.00	0.60	3.31	0.06
C108413	Huanacamaya	101.00	1.00	0.50	375.00	0.50	2.50	0.02	2.00	0.01	5.99	0.00	197.00	0.30	1.56	0.14
C108417	Huanacamaya	12.80	1.00	0.50	344.00	0.50	4.00	0.02	11.00	0.05	4.29	0.00	184.00	0.90	4.75	0.38
C108420	Huanacamaya	17.10	1.00	0.50	332.00	0.50	2.50	0.02	5.00	0.02	3.91	0.01	478.00	1.30	2.28	0.05
C108421	Huanacamaya	45.00	1.00	0.50	380.00	1.00	5.00	0.05	6.00	0.04	10.20	0.02	835.00	0.70	10.75	0.07
C108424	Huanacamaya	158.00	1.00	0.50	263.00	1.00	3.00	0.02	1.00	0.05	6.22	0.01	812.00	0.60	10.50	0.07
C108426	Huanacamaya	91.00	3.00	0.50	262.00	1.00	6.00	0.05	78.00	0.06	23.30	0.02	1240.00	1.00	9.29	0.18
C108427	Huanacamaya	16.60	1.00	0.50	475.00	1.00	7.00	0.01	13.00	0.03	3.63	0.01	323.00	0.60	2.62	0.10

Tabla 23.- Tabla de Elementos Menores de Columna Huanacamaya. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>Ba ppm</b>	<b>Mo ppm</b>	<b>Sn ppm</b>	<b>Sr ppm</b>	<b>W ppm</b>	<b>Au ppb</b>	<b>Ag ppm</b>	<b>As ppm</b>	<b>Bi ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Hg ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Li ppm</b>	<b>Pb ppm</b>	<b>Sb ppm</b>
<b>Minimo</b>	12.800	1.000	0.500	262.000	0.500	2.500	0.010	1.000	0.010	1.410	0.003	92.000	0.300	1.230	0.045
<b>Maximo</b>	158.000	3.000	0.500	475.000	1.000	7.000	0.051	78.000	0.060	23.300	0.022	1240.000	1.300	10.750	0.380
<b>Promedio</b>	53.600	1.154	0.500	354.923	0.769	3.923	0.022	10.000	0.031	6.090	0.010	431.846	0.600	4.296	0.142
<b>Mediana</b>	45.000	1.000	0.500	362.000	1.000	3.000	0.018	3.000	0.030	3.930	0.008	257.000	0.600	2.760	0.125
<b>Promedio Geometrico</b>	39.692	1.088	0.500	348.922	0.726	3.673	0.019	3.697	0.027	4.565	0.007	322.136	0.534	3.295	0.114
<b>Sumatoria</b>	696.800	15.000	6.500	4614.000	10.000	51.000	0.283	130.000	0.400	79.170	0.126	5614.000	7.800	55.850	1.846
<b>Varianza</b>	1872.330	0.308	0.000	4535.244	0.067	2.327	0.000	432.667	0.000	33.384	0.000	122508.974	0.097	12.160	0.011
<b>Desviacion Estandar</b>	43.270	0.555	0.000	67.344	0.259	1.525	0.013	20.801	0.016	5.778	0.007	350.013	0.311	3.487	0.103
<b>Coficiente de Variacion</b>	80.728	48.074	0.000	18.974	33.727	38.883	58.742	208.006	50.456	94.875	74.148	81.050	51.819	81.167	72.461
<b>Rango Intercuartil</b>	65.650	0.000	0.000	110.500	0.500	2.500	0.008	7.500	0.025	4.615	0.014	536.000	0.500	5.145	0.121
<b>Rango</b>	145.200	2.000	0.000	213.000	0.500	4.500	0.041	77.000	0.050	21.890	0.020	1148.000	1.000	9.520	0.335
<b>Percentil 10</b>	14.320	1.000	0.500	262.400	0.500	2.500	0.011	1.000	0.010	1.550	0.003	102.800	0.300	1.354	0.047
<b>Percentil 25</b>	17.750	1.000	0.500	290.000	0.500	2.500	0.014	1.000	0.020	2.880	0.003	190.500	0.300	1.875	0.062
<b>Percentil 50</b>	45.000	1.000	0.500	362.000	1.000	3.000	0.018	3.000	0.030	3.930	0.008	257.000	0.600	2.760	0.125
<b>percentil 75</b>	83.400	1.000	0.500	400.500	1.000	5.000	0.022	8.500	0.045	7.495	0.017	726.500	0.800	7.020	0.183
<b>Percentil 95</b>	158.000	3.000	0.500	475.000	1.000	7.000	0.051	78.000	0.060	23.300	0.022	1240.000	1.300	10.750	0.380
<b>Percentil 98</b>	158.000	3.000	0.500	475.000	1.000	7.000	0.051	78.000	0.060	23.300	0.022	1240.000	1.300	10.750	0.380
<b>Percentil 99</b>	158.000	3.000	0.500	475.000	1.000	7.000	0.051	78.000	0.060	23.300	0.022	1240.000	1.300	10.750	0.380

**Tabla. 24.- Resultados estadísticos de Elementos Menores de la columna Huanacamaya. (Amorós Oscar, 2014)**

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Sample	Ubicación	Fe %	Al %	Mg %	K %	Na %	CO2 %	C %	S %
C108402	Huanacamaya	0.26	0.06	0.22	0.01	0.01	41.00	11.30	0.01
C108404	Huanacamaya	0.23	0.06	0.21	0.02	0.01	42.70	11.20	0.03
C108406	Huanacamaya	0.19	0.04	0.43	0.01	0.01	42.10	11.30	0.07
C108409	Huanacamaya	0.30	0.03	0.25	0.01	0.01	41.00	11.65	0.02
C108410	Huanacamaya	0.15	0.04	0.26	0.01	0.01	42.20	11.55	0.02
C108412	Huanacamaya	0.46	0.07	0.24	0.02	0.01	38.90	11.20	0.01
C108413	Huanacamaya	0.27	0.05	0.25	0.01	0.01	41.70	11.45	0.02
C108417	Huanacamaya	0.51	0.09	0.29	0.03	0.01	41.70	11.40	0.03
C108420	Huanacamaya	0.56	0.11	0.25	0.02	0.01	40.20	11.05	0.02
C108421	Huanacamaya	0.76	0.10	0.34	0.04	0.01	37.50	10.35	0.04
C108424	Huanacamaya	0.73	0.14	0.26	0.06	0.01	36.70	10.30	0.04
C108425	Huanacamaya	2.04	0.26	0.13	0.09	0.01	32.50	9.32	0.02
C108427	Huanacamaya	0.33	0.10	0.25	0.04	0.01	38.80	10.80	0.01

Tabla 25.- Tabla de elementos Menores Porcentuales en la columna Huanacamaya. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>Fe %</b>	<b>Al %</b>	<b>Mg %</b>	<b>K %</b>	<b>Na %</b>	<b>CO2 %</b>	<b>C %</b>	<b>S %</b>
<b>Minimo</b>	0.150	0.030	0.130	0.005	0.005	32.500	9.320	0.010
<b>Maximo</b>	2.040	0.260	0.430	0.090	0.005	42.700	11.650	0.070
<b>Promedio</b>	0.522	0.088	0.260	0.028	0.005	39.769	10.990	0.026
<b>Mediana</b>	0.330	0.070	0.250	0.020	0.005	41.000	11.200	0.020
<b>Promedio Geometrico</b>	0.400	0.075	0.252	0.020	0.005	39.666	10.971	0.022
<b>Sumatoria</b>	6.790	1.150	3.380	0.365	0.065	517.000	142.870	0.340
<b>Varianza</b>	0.247	0.004	0.005	0.001	0.000	8.309	0.427	0.000
<b>Desviacion Estandar</b>	0.497	0.061	0.070	0.024	0.000	2.883	0.653	0.017
<b>Coficiente de Variacion</b>	95.118	68.738	26.739	87.102	0.000	7.248	5.946	63.480
<b>Rango Intercuartil</b>	0.400	0.060	0.045	0.030	0.000	3.750	0.850	0.020
<b>Rango</b>	1.890	0.230	0.300	0.085	0.000	10.200	2.330	0.060
<b>Percentil 10</b>	0.166	0.034	0.162	0.007	0.005	34.180	9.712	0.010
<b>Percentil 25</b>	0.245	0.045	0.230	0.010	0.005	38.150	10.575	0.015
<b>Percentil 50</b>	0.330	0.070	0.250	0.020	0.005	41.000	11.200	0.020
<b>percentil 75</b>	0.645	0.105	0.275	0.040	0.005	41.900	11.425	0.035
<b>Percentil 95</b>	2.040	0.260	0.430	0.090	0.005	42.700	11.650	0.070
<b>Percentil 98</b>	2.040	0.260	0.430	0.090	0.005	42.700	11.650	0.070
<b>Percentil 99</b>	2.040	0.260	0.430	0.090	0.005	42.700	11.650	0.070

Tabla. 26.- Resultados estadísticos de elementos Menores Porcentuales en la columna Huanacamaya. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Sample	Ubicación	U ppm	Ce ppm	Er ppm	Eu ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nd ppm	Pr ppm	Sm ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	Yb ppm
C108402	Huanacamaya	0.35	3.5	0.17	0.08	0.06	2.2	0.03	1.9	0.47	0.41	0.06	0.39	0.02	0.18
C108404	Huanacamaya	0.44	4.1	0.16	0.09	0.06	2.1	0.03	2	0.51	0.43	0.06	0.43	0.03	0.17
C108406	Huanacamaya	0.27	3.9	0.21	0.1	0.08	2	0.03	2.1	0.52	0.41	0.06	0.33	0.03	0.19
C108409	Huanacamaya	0.92	1.7	0.13	0.04	0.04	1.1	0.01	1	0.22	0.18	0.03	0.18	0.01	0.1
C108410	Huanacamaya	0.34	3.6	0.15	0.08	0.06	2	0.03	1.9	0.48	0.36	0.05	0.22	0.02	0.15
C108412	Huanacamaya	0.35	4.6	0.23	0.1	0.09	2.6	0.04	2.4	0.59	0.5	0.07	0.51	0.03	0.2
C108413	Huanacamaya	1.07	1.7	0.1	0.04	0.03	1.1	0.02	0.9	0.24	0.2	0.03	0.17	0.01	0.11
C108417	Huanacamaya	0.46	6.5	0.31	0.16	0.12	3.5	0.05	3.2	0.82	0.71	0.1	0.64	0.05	0.33
C108420	Huanacamaya	0.31	6.3	0.28	0.2	0.11	3.3	0.03	3.6	0.83	0.78	0.1	0.55	0.04	0.27
C108421	Huanacamaya	1.03	22.2	1.35	0.85	0.53	13.1	0.16	14.7	3.32	3.16	0.46	1.42	0.19	1.05
C108424	Huanacamaya	0.48	18	0.73	0.65	0.3	9.3	0.1	9.9	2.24	2.02	0.26	1.73	0.1	0.63
C108425	Huanacamaya	1.04	28.9	1.26	0.83	0.49	16.2	0.17	16.9	3.98	3.15	0.43	2.65	0.18	1.1
C108427	Huanacamaya	0.33	6.9	0.31	0.22	0.11	3.5	0.04	3.8	0.9	0.81	0.11	0.71	0.04	0.25

Tabla 27.- Tabla de Resultados de Tierras Raras de la columna Huanacamaya. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>U ppm</b>	<b>Ce ppm</b>	<b>Er ppm</b>	<b>Eu ppm</b>	<b>Ho ppm</b>	<b>La ppm</b>	<b>Lu ppm</b>	<b>Nd ppm</b>	<b>Pr ppm</b>	<b>Sm ppm</b>	<b>Tb ppm</b>	<b>Th ppm</b>	<b>Tm ppm</b>	<b>Yb ppm</b>
<b>Minimo</b>	0.270	1.700	0.100	0.040	0.030	1.100	0.010	0.900	0.220	0.180	0.030	0.170	0.010	0.100
<b>Maximo</b>	1.070	28.900	1.350	0.850	0.530	16.200	0.170	16.900	3.980	3.160	0.460	2.650	0.190	1.100
<b>Promedio</b>	0.568	8.608	0.415	0.265	0.160	4.769	0.057	4.946	1.163	1.009	0.140	0.764	0.058	0.364
<b>Mediana</b>	0.440	4.600	0.230	0.100	0.090	2.600	0.030	2.400	0.590	0.500	0.070	0.510	0.030	0.200
<b>Promedio Geometrico</b>	0.499	5.817	0.286	0.155	0.106	3.257	0.041	3.189	0.771	0.657	0.093	0.537	0.038	0.265
<b>Sumatoria</b>	7.390	111.900	5.390	3.440	2.080	62.000	0.740	64.300	15.120	13.120	1.820	9.930	0.750	4.730
<b>Varianza</b>	0.101	75.214	0.182	0.090	0.029	23.889	0.003	28.543	1.492	1.124	0.022	0.540	0.004	0.118
<b>Desviacion Estandar</b>	0.317	8.673	0.426	0.300	0.169	4.888	0.053	5.343	1.221	1.060	0.148	0.735	0.061	0.343
<b>Coe ficiente de Variacion</b>	55.790	100.754	102.793	113.462	105.912	102.483	92.232	108.014	105.015	105.053	105.423	96.194	105.708	94.368
<b>Rango Intercuartil</b>	0.640	8.900	0.365	0.355	0.150	4.400	0.045	4.950	1.095	1.030	0.130	0.790	0.055	0.320
<b>Rango</b>	0.800	27.200	1.250	0.810	0.500	15.100	0.160	16.000	3.760	2.980	0.430	2.480	0.180	1.000
<b>Percentil 10</b>	0.286	1.700	0.112	0.040	0.034	1.100	0.014	0.940	0.228	0.188	0.030	0.174	0.010	0.104
<b>Percentil 25</b>	0.335	3.550	0.155	0.080	0.060	2.000	0.030	1.900	0.475	0.385	0.055	0.275	0.020	0.160
<b>Percentil 50</b>	0.440	4.600	0.230	0.100	0.090	2.600	0.030	2.400	0.590	0.500	0.070	0.510	0.030	0.200
<b>percentil 75</b>	0.975	12.450	0.520	0.435	0.210	6.400	0.075	6.850	1.570	1.415	0.185	1.065	0.075	0.480
<b>Percentil 95</b>	1.070	28.900	1.350	0.850	0.530	16.200	0.170	16.900	3.980	3.160	0.460	2.650	0.190	1.100
<b>Percentil 98</b>	1.070	28.900	1.350	0.850	0.530	16.200	0.170	16.900	3.980	3.160	0.460	2.650	0.190	1.100
<b>Percentil 99</b>	1.070	28.900	1.350	0.850	0.530	16.200	0.170	16.900	3.980	3.160	0.460	2.650	0.190	1.100

Tabla. 28.- Resultados estadísticos de Elementos de Tierras Raras de la columna Huanacamaya. (Amorós Oscar, 2014)

**5.2.3.4 COLUMNA YUNGA**

Sample	Ubicación	Ba ppm	Mo ppm	Sn ppm	Sr ppm	W ppm	Au ppb	Ag ppm	As ppm	Bi ppm	Cu ppm	Hg ppm	Mn ppm	Li ppm	Pb ppm	Sb ppm
C108429	Yunga	31.30	1.00	0.50	428.00	0.50	2.50	0.001	4.00	0.01	1.13	0.003	128.00	0.60	1.56	0.05
C108433	Yunga	163.50	1.00	0.50	507.00	0.50	2.50	0.003	3.00	0.01	1.90	0.003	173.00	0.80	3.99	0.08
C108434	Yunga	73.20	1.00	0.50	344.00	0.50	2.50	0.007	2.00	0.01	1.63	0.003	243.00	0.40	2.00	0.09
C108441	Yunga	19.30	1.00	0.50	440.00	0.50	3.00	0.009	3.00	0.01	4.28	0.007	127.00	0.40	2.04	0.03
C108442	Yunga	10.40	1.00	0.50	414.00	0.50	3.00	0.004	4.00	0.02	1.73	0.008	134.00	0.30	2.60	0.04
C108444	Yunga	12.70	1.00	0.50	293.00	0.50	7.00	0.005	3.00	0.02	2.77	0.003	561.00	0.50	2.14	0.03
C108446	Yunga	30.10	1.00	0.50	291.00	0.50	2.50	0.013	1.00	0.03	5.82	0.009	652.00	0.40	5.86	0.07
C108447	Yunga	43.90	1.00	1.00	324.00	0.50	3.00	0.011	6.00	0.03	6.44	0.009	817.00	1.10	6.04	0.12
C108448	Yunga	23.50	1.00	0.50	401.00	0.50	3.00	0.008	1.00	0.03	3.75	0.009	408.00	0.80	2.54	0.08
C108450	Yunga	30.30	1.00	0.50	211.00	0.50	4.00	0.011	1.00	0.03	3.27	0.008	595.00	0.40	8.04	0.08
C108451	Yunga	19.30	1.00	0.50	388.00	0.50	3.00	0.006	3.00	0.02	5.20	0.007	289.00	0.50	5.26	0.05
C108453	Yunga	15.80	1.00	0.50	351.00	0.50	2.50	0.006	7.00	0.03	3.40	0.003	319.00	0.80	4.90	0.06
C108455	Yunga	12.10	1.00	0.50	347.00	0.50	5.00	0.003	2.00	0.02	1.80	0.003	221.00	0.50	4.26	0.06

Tabla 29.- Tabla de Elementos Menores de Columna Yunga. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>Ba ppm</b>	<b>Mo ppm</b>	<b>Sn ppm</b>	<b>Sr ppm</b>	<b>W ppm</b>	<b>Au ppb</b>	<b>Ag ppm</b>	<b>As ppm</b>	<b>Bi ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Hg ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Li ppm</b>	<b>Pb ppm</b>	<b>Sb ppm</b>
<b>Minimo</b>	10.400	1.000	0.500	211.000	0.500	2.500	0.001	1.000	0.010	1.130	0.003	127.000	0.300	1.560	0.028
<b>Maximo</b>	163.500	1.000	1.000	507.000	0.500	7.000	0.013	7.000	0.030	6.440	0.009	817.000	1.100	8.040	0.123
<b>Promedio</b>	37.338	1.000	0.538	364.538	0.500	3.375	0.007	3.077	0.021	3.317	0.006	359.000	0.577	3.941	0.065
<b>Mediana</b>	23.500	1.000	0.500	351.000	0.500	3.000	0.006	3.000	0.020	3.270	0.007	289.000	0.500	3.990	0.064
<b>Promedio Geometrico</b>	26.586	1.000	0.527	356.493	0.500	3.189	0.006	2.574	0.019	2.905	0.005	296.245	0.539	3.486	0.060
<b>Sumatoria</b>	485.400	13.000	7.000	4739.000	6.500	40.500	0.087	40.000	0.270	43.120	0.072	4667.000	7.500	51.230	0.847
<b>Varianza</b>	1721.678	0.000	0.019	5916.603	0.000	1.869	0.000	3.410	0.000	2.954	0.000	52160.000	0.054	3.976	0.001
<b>Desviacion Estandar</b>	41.493	0.000	0.139	76.919	0.000	1.367	0.004	1.847	0.009	1.719	0.003	228.386	0.231	1.994	0.026
<b>Coficiente de Variacion</b>	111.127	0.000	25.754	21.101	0.000	40.511	53.663	60.017	41.519	51.814	54.099	63.617	40.126	50.597	39.260
<b>Rango Intercuartil</b>	23.350	0.000	0.000	112.500	0.000	1.250	0.006	2.500	0.020	2.975	0.006	424.500	0.400	3.470	0.035
<b>Rango</b>	153.100	0.000	0.500	296.000	0.000	4.500	0.012	6.000	0.020	5.310	0.006	690.000	0.800	6.480	0.095
<b>Percentil 10</b>	11.080	1.000	0.500	243.000	0.500	2.500	0.002	1.000	0.010	1.330	0.003	127.400	0.340	1.736	0.030
<b>Percentil 25</b>	14.250	1.000	0.500	308.500	0.500	2.500	0.004	1.500	0.010	1.765	0.003	153.500	0.400	2.090	0.048
<b>Percentil 50</b>	23.500	1.000	0.500	351.000	0.500	3.000	0.006	3.000	0.020	3.270	0.007	289.000	0.500	3.990	0.064
<b>percentil 75</b>	37.600	1.000	0.500	421.000	0.500	3.750	0.010	4.000	0.030	4.740	0.009	578.000	0.800	5.560	0.082
<b>Percentil 95</b>	163.500	1.000	1.000	507.000	0.500	7.000	0.013	7.000	0.030	6.440	0.009	817.000	1.100	8.040	0.123
<b>Percentil 98</b>	163.500	1.000	1.000	507.000	0.500	7.000	0.013	7.000	0.030	6.440	0.009	817.000	1.100	8.040	0.123
<b>Percentil 99</b>	163.500	1.000	1.000	507.000	0.500	7.000	0.013	7.000	0.030	6.440	0.009	817.000	1.100	8.040	0.123

Tabla. 30.- Resultados estadísticos de Elementos Menores de la columna Yunga. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Sample	Ubicación	Fe %	Al %	Mg %	K %	Na %	CO2 %	C %	S %
C108429	Yunga	0.15	0.06	0.25	0.01	0.03	39.30	10.95	0.02
C108433	Yunga	0.28	0.07	0.29	0.02	0.03	40.80	11.15	0.03
C108434	Yunga	0.27	0.06	0.26	0.02	0.02	39.00	10.70	0.02
C108441	Yunga	0.13	0.04	0.30	0.01	0.02	42.60	11.65	0.01
C108442	Yunga	0.13	0.03	0.29	0.01	0.02	42.10	11.65	0.02
C108444	Yunga	0.32	0.04	0.42	0.01	0.02	42.30	12.00	0.07
C108446	Yunga	0.81	0.08	0.33	0.03	0.02	40.60	11.05	0.06
C108447	Yunga	1.03	0.17	0.30	0.05	0.02	35.90	9.88	0.04
C108448	Yunga	0.51	0.11	0.27	0.04	0.02	38.10	10.80	0.02
C108450	Yunga	0.57	0.07	0.22	0.02	0.02	38.10	11.10	0.02
C108451	Yunga	0.34	0.09	0.25	0.03	0.02	39.60	11.00	0.02
C108453	Yunga	0.52	0.15	0.28	0.06	0.02	37.80	10.40	0.02
C108455	Yunga	0.29	0.07	0.28	0.03	0.02	24.70	10.95	0.02

Tabla 31.- Tabla de elementos Menores Porcentuales en la columna Yunga. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>Fe %</b>	<b>Al %</b>	<b>Mg %</b>	<b>K %</b>	<b>Na %</b>	<b>CO2 %</b>	<b>C %</b>	<b>S %</b>
<b>Minimo</b>	0.130	0.030	0.220	0.010	0.020	24.700	9.880	0.010
<b>Maximo</b>	1.030	0.170	0.420	0.060	0.030	42.600	12.000	0.070
<b>Promedio</b>	0.396	0.080	0.288	0.026	0.022	38.531	11.022	0.028
<b>Mediana</b>	0.320	0.070	0.280	0.020	0.020	39.300	11.000	0.020
<b>Promedio Geometrico</b>	0.331	0.071	0.284	0.022	0.021	38.218	11.009	0.025
<b>Sumatoria</b>	5.150	1.040	3.740	0.340	0.280	500.900	143.280	0.370
<b>Varianza</b>	0.063	0.002	0.002	0.000	0.000	21.167	0.302	0.000
<b>Desviacion Estandar</b>	0.251	0.042	0.049	0.016	0.004	4.601	0.549	0.018
<b>Coficiente de Variacion</b>	63.439	52.042	16.859	61.531	17.435	11.941	4.986	62.270
<b>Rango Intercuartil</b>	0.335	0.050	0.045	0.025	0.000	3.500	0.650	0.015
<b>Rango</b>	0.900	0.140	0.200	0.050	0.010	17.900	2.120	0.060
<b>Percentil 10</b>	0.130	0.034	0.232	0.010	0.020	29.180	10.088	0.014
<b>Percentil 25</b>	0.210	0.050	0.255	0.010	0.020	37.950	10.750	0.020
<b>Percentil 50</b>	0.320	0.070	0.280	0.020	0.020	39.300	11.000	0.020
<b>percentil 75</b>	0.545	0.100	0.300	0.035	0.020	41.450	11.400	0.035
<b>Percentil 95</b>	1.030	0.170	0.420	0.060	0.030	42.600	12.000	0.070
<b>Percentil 98</b>	1.030	0.170	0.420	0.060	0.030	42.600	12.000	0.070
<b>Percentil 99</b>	1.030	0.170	0.420	0.060	0.030	42.600	12.000	0.070

Tabla. 32.- Resultados estadísticos de elementos Menores Porcentuales en la columna Yunga. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

Sample	Ubicación	U ppm	Ce ppm	Er ppm	Eu ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nd ppm	Pr ppm	Sm ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	Yb ppm
C108429	Yunga	0.36	4.3	0.25	0.1	0.09	2.7	0.04	2.3	0.57	0.44	0.07	0.51	0.04	0.25
C108433	Yunga	0.52	4	0.19	0.1	0.08	2.2	0.02	2.1	0.5	0.39	0.06	0.44	0.03	0.17
C108434	Yunga	0.37	5.5	0.28	0.13	0.11	3.3	0.04	2.8	0.74	0.57	0.09	2.96	0.05	0.28
C108441	Yunga	0.39	2.7	0.14	0.07	0.05	2	0.03	1.5	0.37	0.3	0.05	0.47	0.02	0.15
C108442	Yunga	0.28	1.9	0.11	0.05	0.04	1.6	0.02	1	0.28	0.2	0.03	0.29	0.02	0.12
C108444	Yunga	0.36	3.4	0.17	0.08	0.06	2.3	0.03	1.7	0.45	0.34	0.05	0.38	0.02	0.18
C108446	Yunga	0.54	8.2	0.49	0.38	0.2	4.7	0.07	5.2	1.13	1.46	0.21	0.66	0.08	0.42
C108447	Yunga	0.84	15	0.73	0.53	0.28	8.4	0.1	8.1	1.94	1.84	0.28	1.68	0.12	0.7
C108448	Yunga	0.43	8.6	0.44	0.25	0.17	5.1	0.07	4.5	1.12	0.99	0.15	0.96	0.07	0.44
C108450	Yunga	0.53	4.6	0.21	0.15	0.09	2.8	0.04	2.4	0.62	0.52	0.08	0.64	0.03	0.22
C108451	Yunga	0.27	5.3	0.24	0.15	0.1	3.1	0.04	2.8	0.71	0.63	0.09	0.55	0.04	0.25
C108453	Yunga	0.55	17.5	0.5	0.35	0.18	10.1	0.07	7.4	2.1	1.37	0.18	1.99	0.08	0.51
C108455	Yunga	0.28	6.2	0.21	0.13	0.08	3.8	0.03	2.8	0.76	0.48	0.08	0.61	0.03	0.22

Tabla 33.- Tabla de Resultados de Tierras Raras de la columna Yunga. (Amorós Oscar, 2014)

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Valor Estadístico</b>	<b>U ppm</b>	<b>Ce ppm</b>	<b>Er ppm</b>	<b>Eu ppm</b>	<b>Ho ppm</b>	<b>La ppm</b>	<b>Lu ppm</b>	<b>Nd ppm</b>	<b>Pr ppm</b>	<b>Sm ppm</b>	<b>Tb ppm</b>	<b>Th ppm</b>	<b>Tm ppm</b>	<b>Yb ppm</b>
<b>Minimo</b>	0.270	1.900	0.110	0.050	0.040	1.600	0.020	1.000	0.280	0.200	0.030	0.290	0.020	0.120
<b>Maximo</b>	0.840	17.500	0.730	0.530	0.280	10.100	0.100	8.100	2.100	1.840	0.280	2.960	0.120	0.700
<b>Promedio</b>	0.440	6.708	0.305	0.190	0.118	4.008	0.046	3.431	0.868	0.733	0.109	0.934	0.048	0.301
<b>Mediana</b>	0.390	5.300	0.240	0.130	0.090	3.100	0.040	2.800	0.710	0.520	0.080	0.610	0.040	0.250
<b>Promedio Geometrico</b>	0.417	5.539	0.263	0.150	0.101	3.446	0.041	2.873	0.731	0.594	0.090	0.726	0.041	0.264
<b>Sumatoria</b>	5.720	87.200	3.960	2.470	1.530	52.100	0.600	44.600	11.290	9.530	1.420	12.140	0.630	3.910
<b>Varianza</b>	0.025	21.869	0.033	0.021	0.005	6.552	0.001	4.981	0.326	0.267	0.005	0.629	0.001	0.029
<b>Desviacion Estandar</b>	0.157	4.676	0.181	0.145	0.070	2.560	0.024	2.232	0.571	0.517	0.074	0.793	0.031	0.169
<b>Coe ficiente de Variacion</b>	35.755	69.718	59.464	76.512	59.290	63.871	51.984	65.051	65.697	70.463	67.736	84.949	62.954	56.170
<b>Rango Intercuartil</b>	0.215	4.700	0.285	0.210	0.105	2.650	0.040	2.950	0.650	0.815	0.110	0.865	0.050	0.255
<b>Rango</b>	0.570	15.600	0.620	0.480	0.240	8.500	0.080	7.100	1.820	1.640	0.250	2.670	0.100	0.580
<b>Percentil 10</b>	0.274	2.220	0.122	0.058	0.044	1.760	0.020	1.200	0.316	0.240	0.038	0.326	0.020	0.132
<b>Percentil 25</b>	0.320	3.700	0.180	0.090	0.070	2.250	0.030	1.900	0.475	0.365	0.055	0.455	0.025	0.175
<b>Percentil 50</b>	0.390	5.300	0.240	0.130	0.090	3.100	0.040	2.800	0.710	0.520	0.080	0.610	0.040	0.250
<b>percentil 75</b>	0.535	8.400	0.465	0.300	0.175	4.900	0.070	4.850	1.125	1.180	0.165	1.320	0.075	0.430
<b>Percentil 95</b>	0.840	17.500	0.730	0.530	0.280	10.100	0.100	8.100	2.100	1.840	0.280	2.960	0.120	0.700
<b>Percentil 98</b>	0.840	17.500	0.730	0.530	0.280	10.100	0.100	8.100	2.100	1.840	0.280	2.960	0.120	0.700
<b>Percentil 99</b>	0.840	17.500	0.730	0.530	0.280	10.100	0.100	8.100	2.100	1.840	0.280	2.960	0.120	0.700

Tabla. 34.- Resultados estadísticos de Elementos de Tierras Raras de la columna Yunga. (Amorós Oscar, 2014)

## **5.2.4 SECCIONES DELGADAS**

Para realizar las secciones delgadas se seleccionaron muestras de cada una de las 4 columnas y se procedió a realizar las secciones delgadas.

### **5.2.4.1 Secciones Delgadas Columna Norte**

#### **5.2.4.1.1 Muestra C108315**

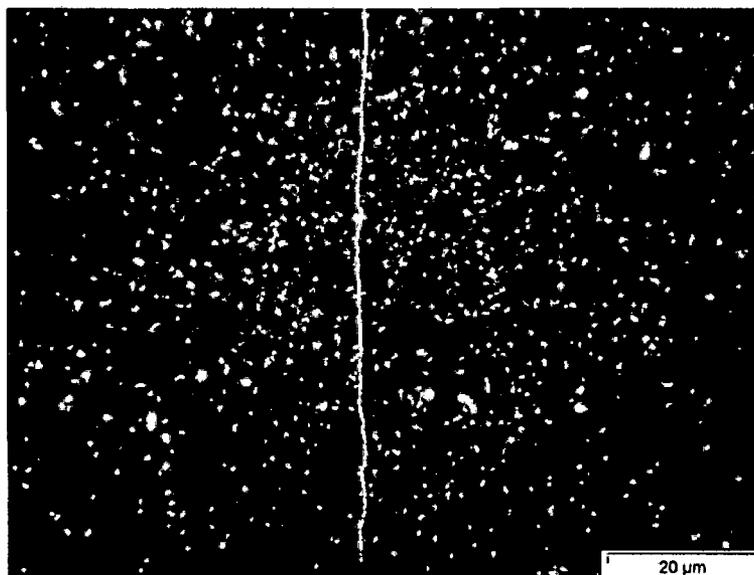


Foto 7.- Microfoto de Caliza Mudstone con micro fractura rellena de calcita

#### **5.2.4.1.2 Muestra C108317**

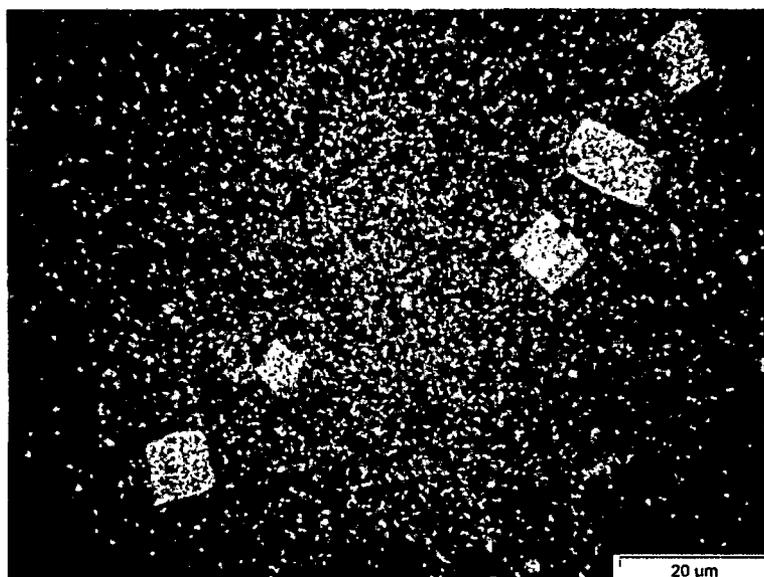


Foto 8.- Microfoto de Micrita con pseudomorfos de pirita

**5.2.4.1.3 Muestra C108319**

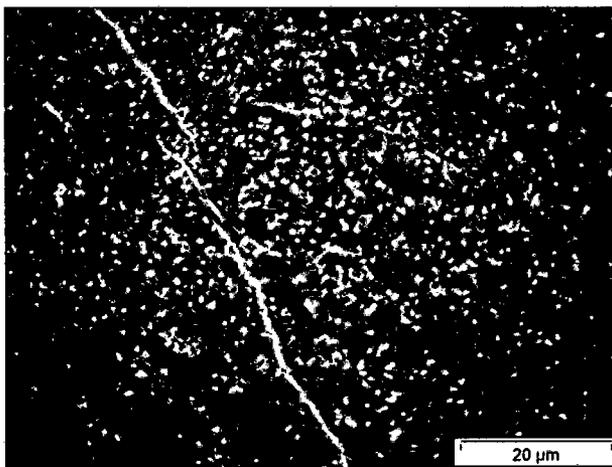


Foto 9.- Microfoto de Micrita con 1% de Cuarzo micro fractura rellena con calcita

**5.2.4.1.4 Muestra C108321**

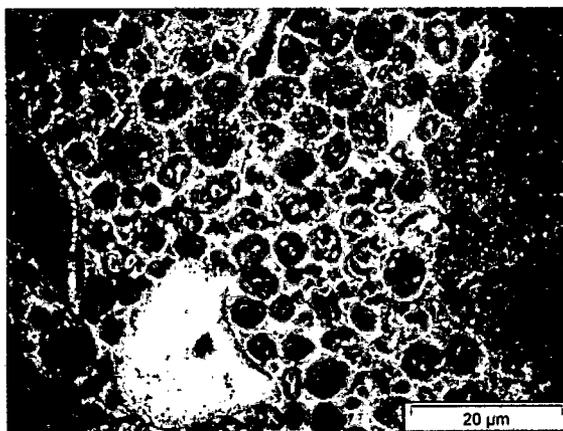


Foto 10.- Microfoto de Caliza Ooparita

**5.2.4.1.5 Muestra C108323**

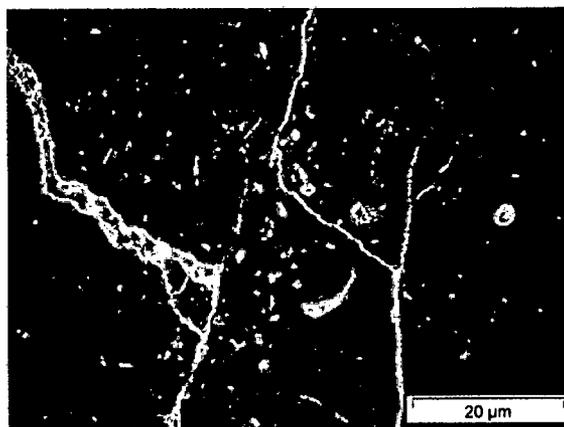
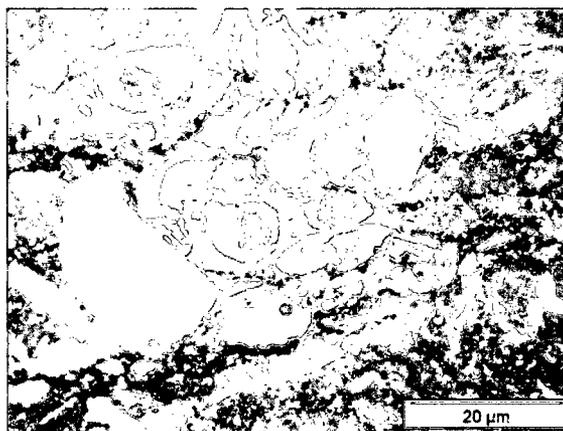


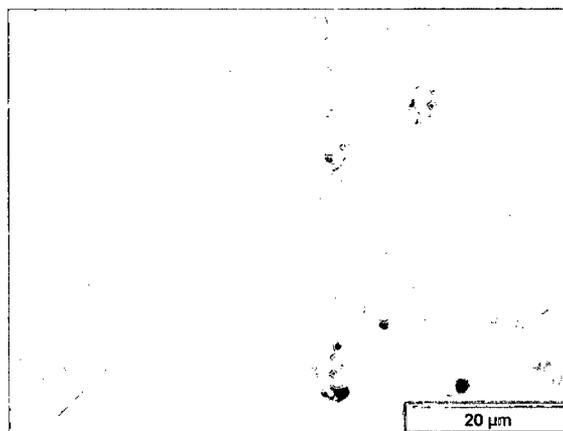
Foto 11.- Microfoto de Micrita con restos de pelecípodos, fracturas con relleno de calcita

**5.2.4.1.6 Muestra C108325**



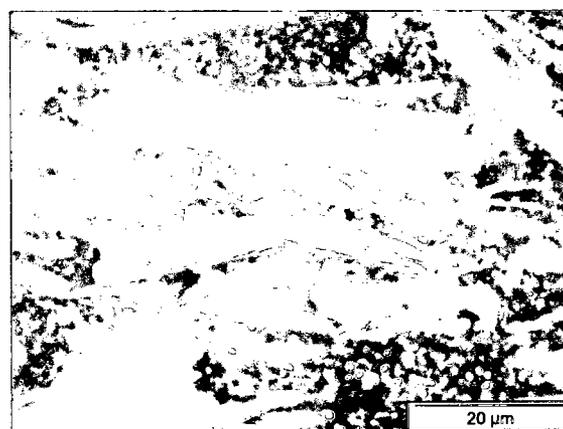
**Foto 12.- Microfoto de Caliza bioesparita**

**5.2.4.1.7 Muestra C108329**



**Foto 13.- Microfoto de Micrita con microfracturas rellenas con calcita**

**5.2.4.1.8 Muestra C108331**



**Foto 14.- Microfoto de Caliza Packstone con fragmentos de pelecípodos**

**5.2.4.1.9 Muestra C108335**

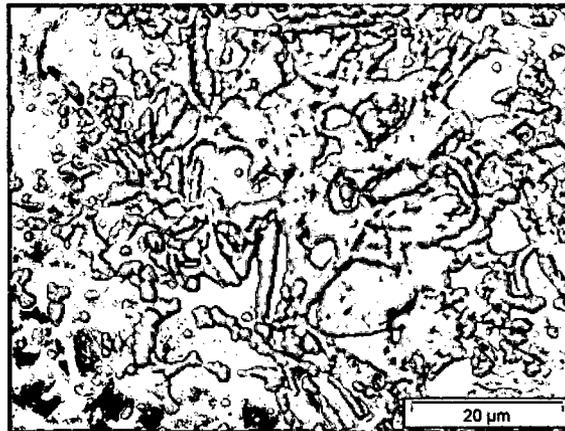


Foto 15.- . Microfoto de Caliza Packstone

**5.2.4.1.10 Muestra 108337**



Foto 16.- Microfoto de Caliza Wackestone

**5.2.4.2 Secciones Delgadas Columna Sur**

**5.2.4.2.1 Muestra C108340**

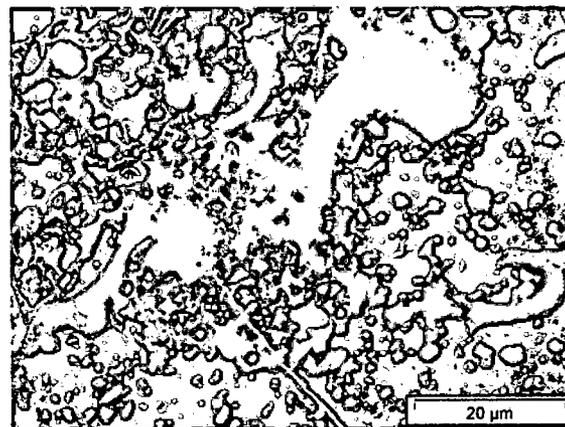
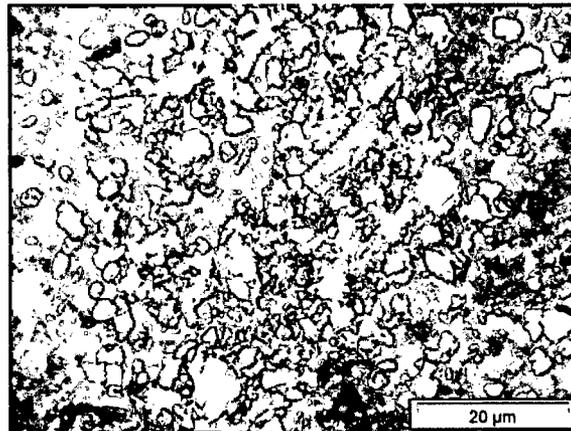


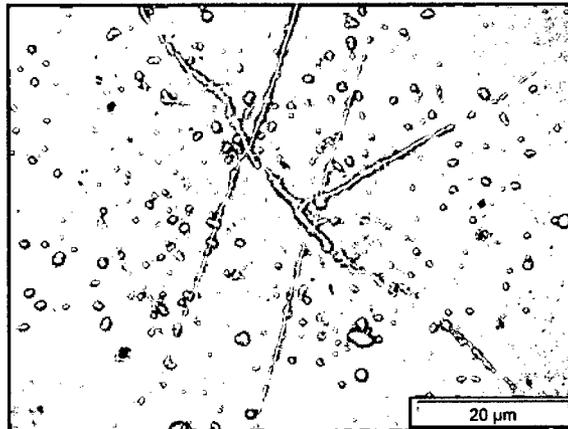
Foto 17.- Microfoto de Caliza Grainstone Bioclástico

**5.2.4.2.2 Muestra C108342**



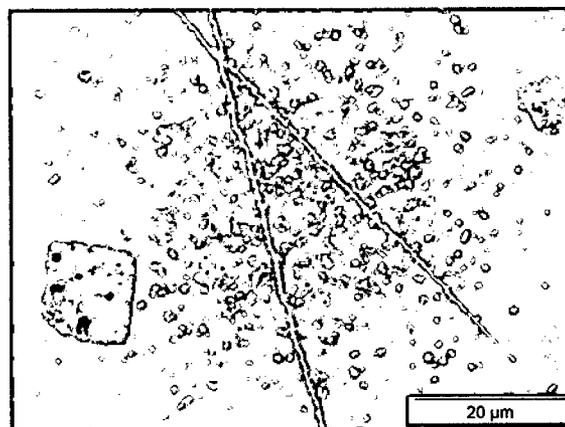
**Foto 18.- Microfoto de Caliza Extrabioesparita**

**5.2.4.2.3 Muestra C108346**



**Foto 19.- Microfoto de Micrita con dos fases de microfracturamiento**

**5.2.4.2.4 Muestra C108348**



**Foto 20.- Microfoto de Micrita microfracturada**

**5.2.4.2.5 Muestra C108350**

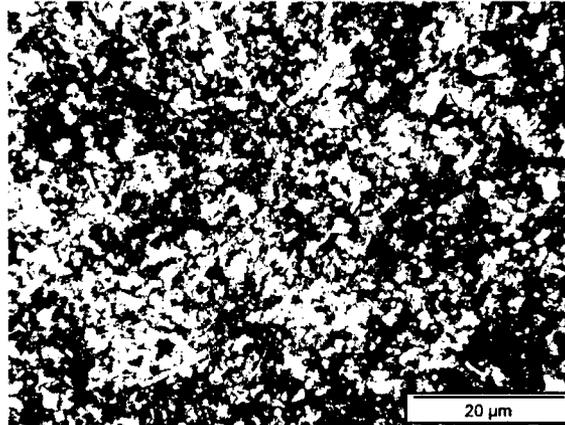


Foto 21.- Microfoto de Calcarenita

**5.2.4.2.6 Muestra de Nivel Silicoclástico**

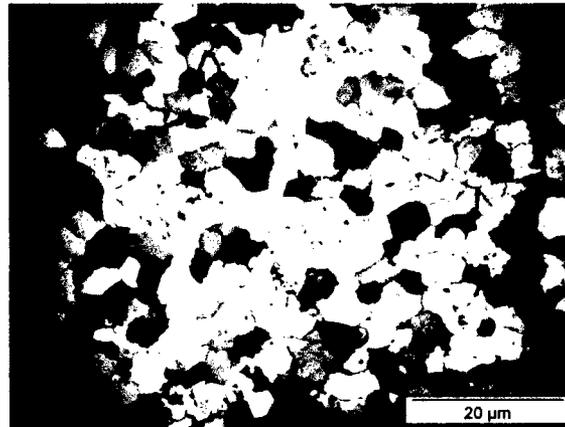


Foto 22.- Microfoto de Cuarciarenita de grano fino, Cuarciarenita con Granos Subredondeados, con textura Mosaico

**5.2.4.2.7 Muestra C108354**

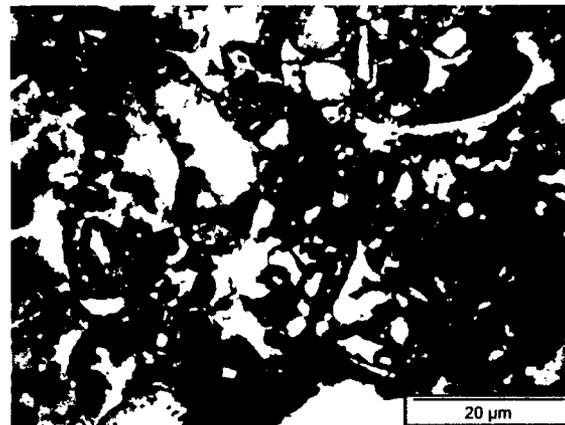
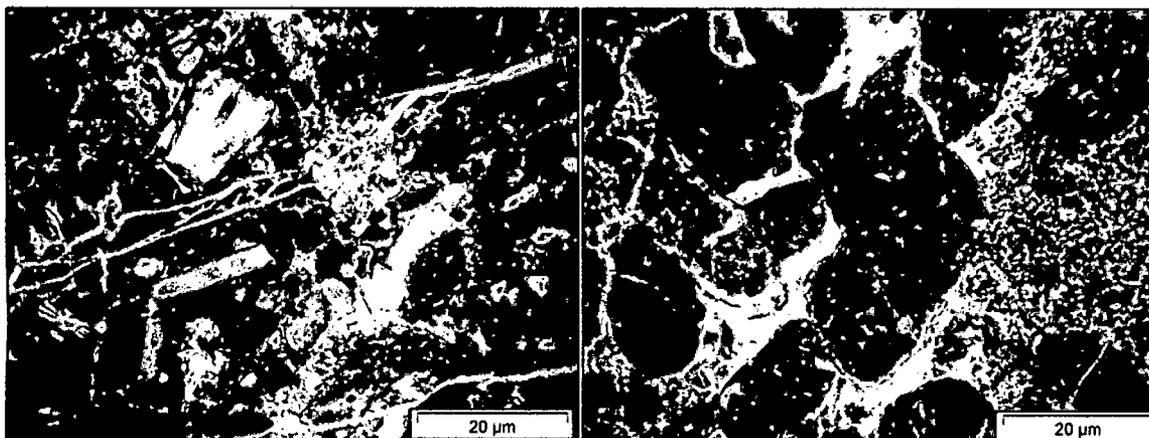


Foto 23.- Microfoto Grainstone bioclástico

5.2.4.2.8 Muestra C108358



Fotos 24.- . Microfoto de Caliza Grainstone bioclástico con microfracturamiento con relleno de calcita

5.2.4.2.9 Muestra C108360

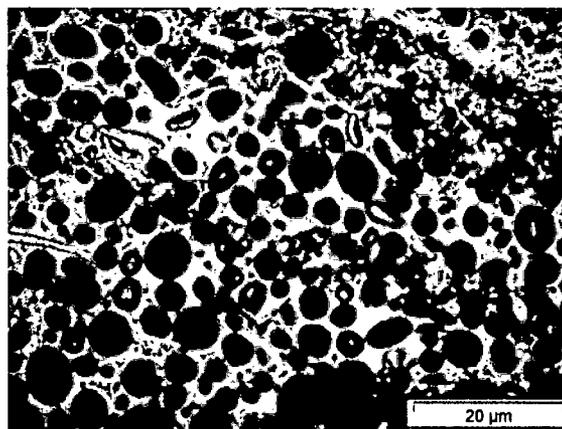
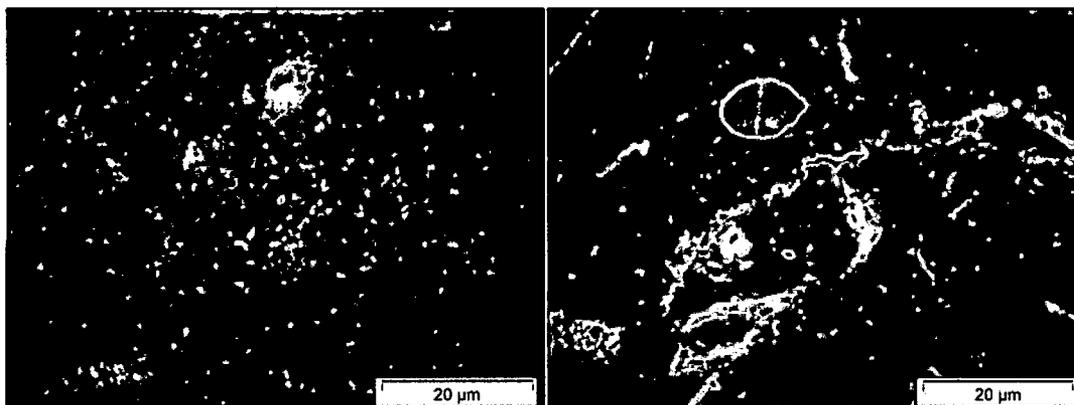


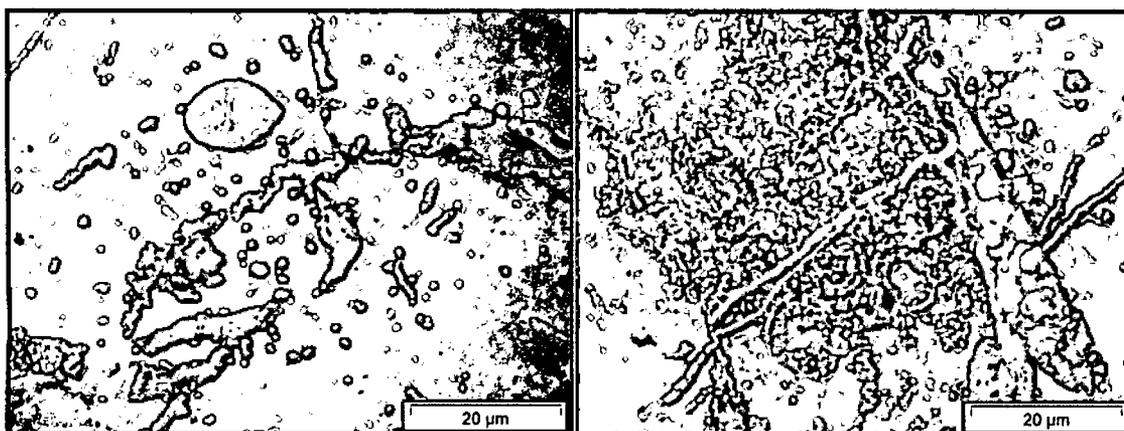
Foto 25.- Microfoto de Caliza Ooesparita, Grainstone oolítico con cemento de esparita en color claro

5.2.4.2.10 Muestra C108364



Fotos 26.- Microfotos de Micrita / Biomicrita

5.2.4.2.11 Muestra C108368



Fotos 27.- Microfotos de Micrita con pelecípodos / Oomicrita

5.2.4.2.12 Muestra C108370

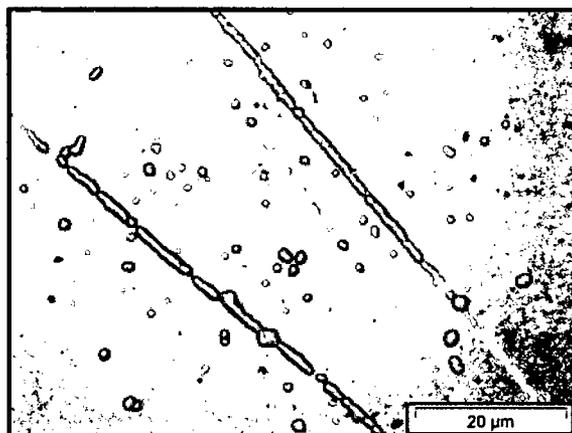
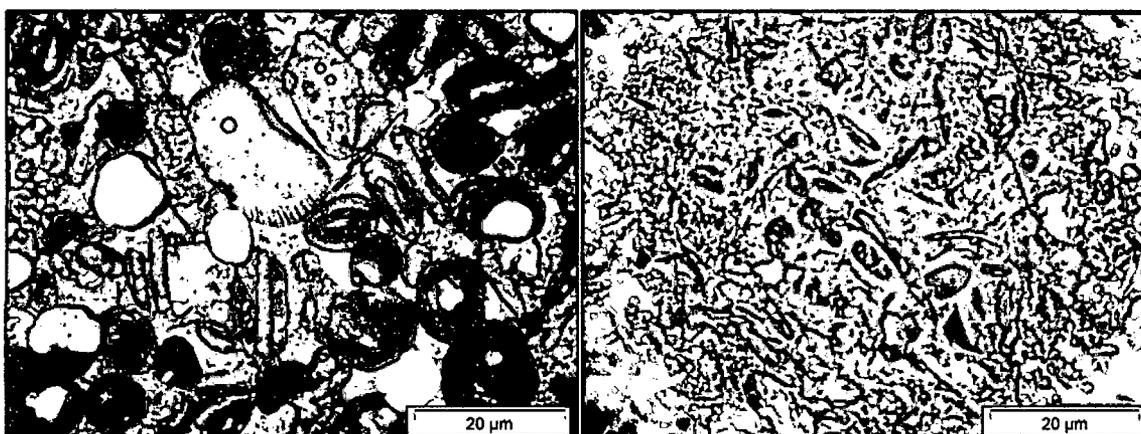


Foto 28.- Microfoto de Caliza Mudstone

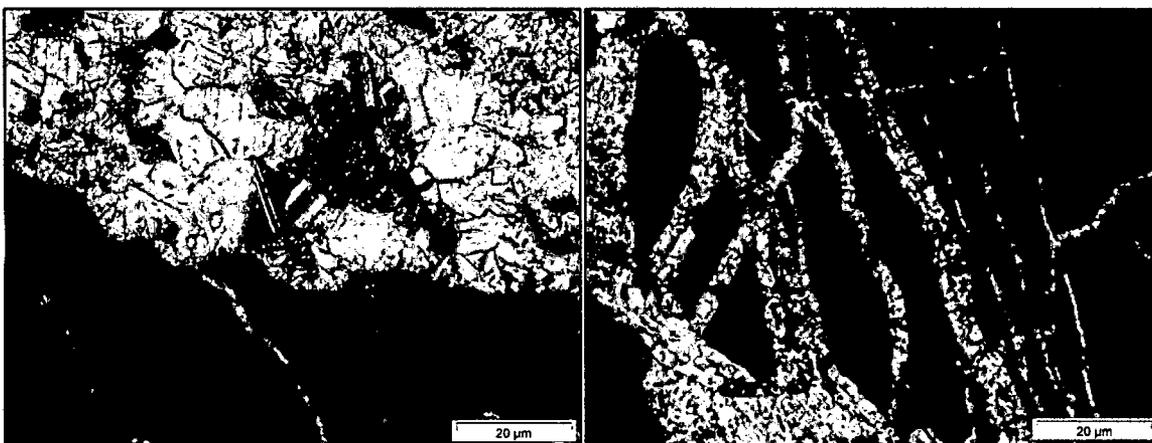
5.2.4.2.13 Muestra C108372



Fotos 29.- Microfotos de Caliza Ooesparita

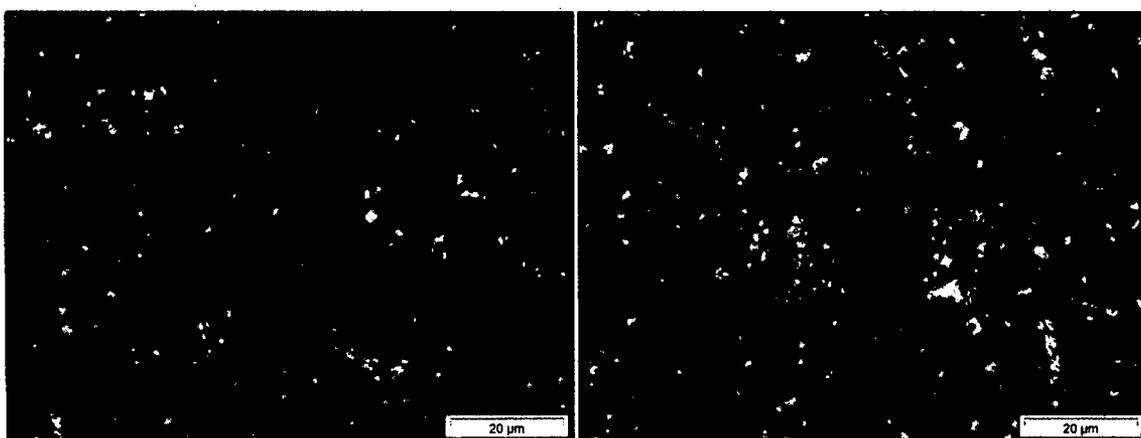
**5.2.4.3 Secciones Delgadas Columna Huanacamaya**

**5.2.4.3.1 Muestra C108404**



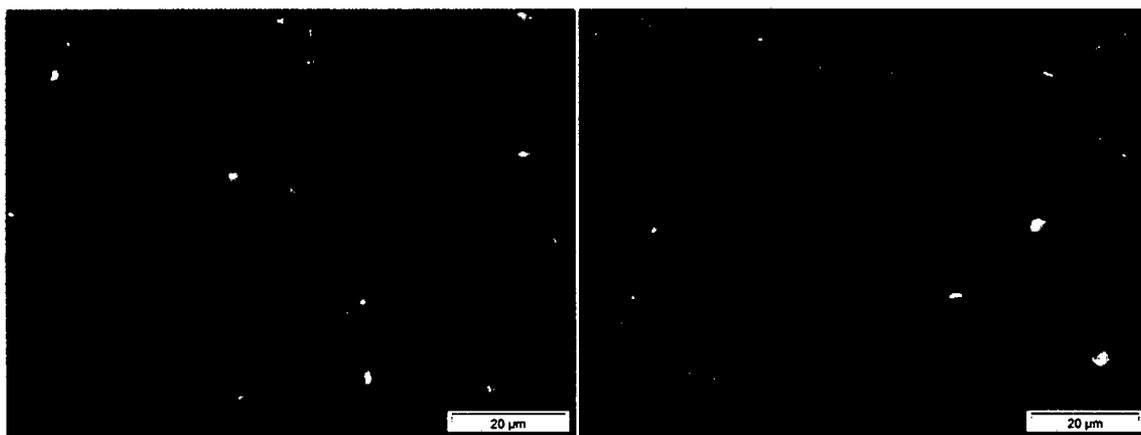
**Fotos 30.- Microfotos de Caliza Packstone**

**5.2.4.3.2 Muestra C108409**



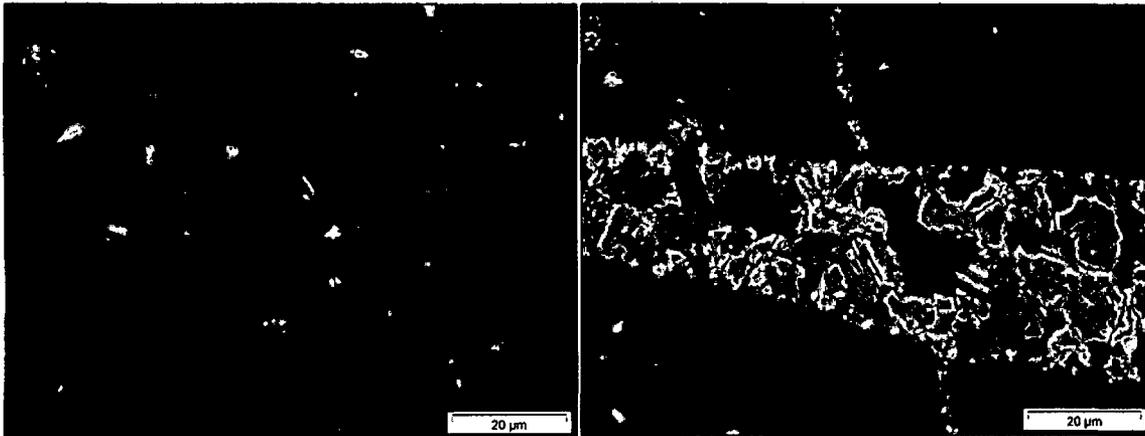
**Fotos 31.- Microfoto de Caliza Grainstone**

**5.2.4.3.3 Muestra C108411**



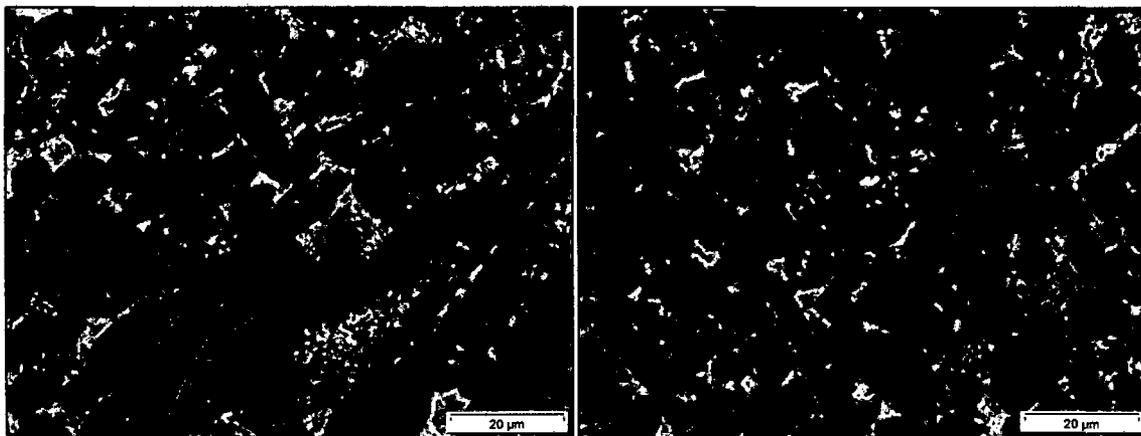
**Fotos 32.- Microfoto de Caliza Wackestone**

**5.2.4.3.4 Muestra C108413**



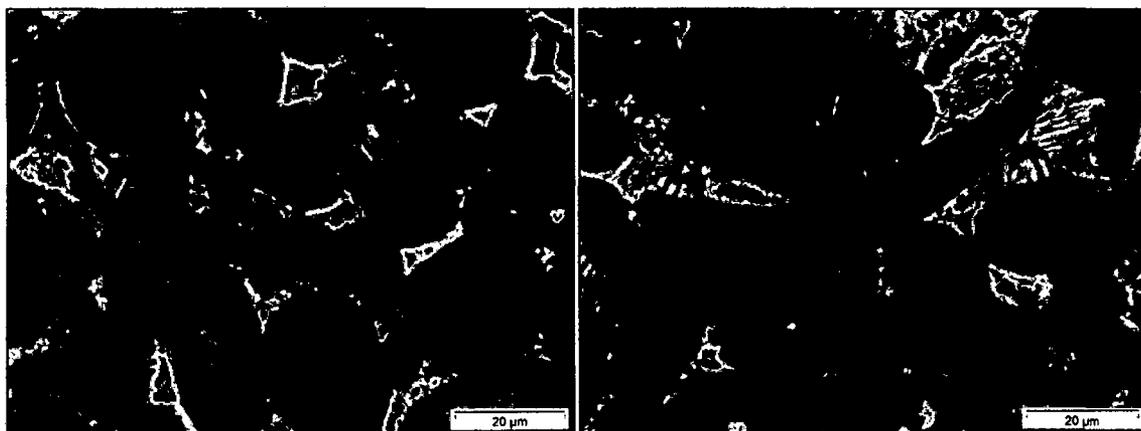
**Fotos 33.- Microfoto de Caliza Grainstone**

**5.2.4.3.5 Muestra C108417**



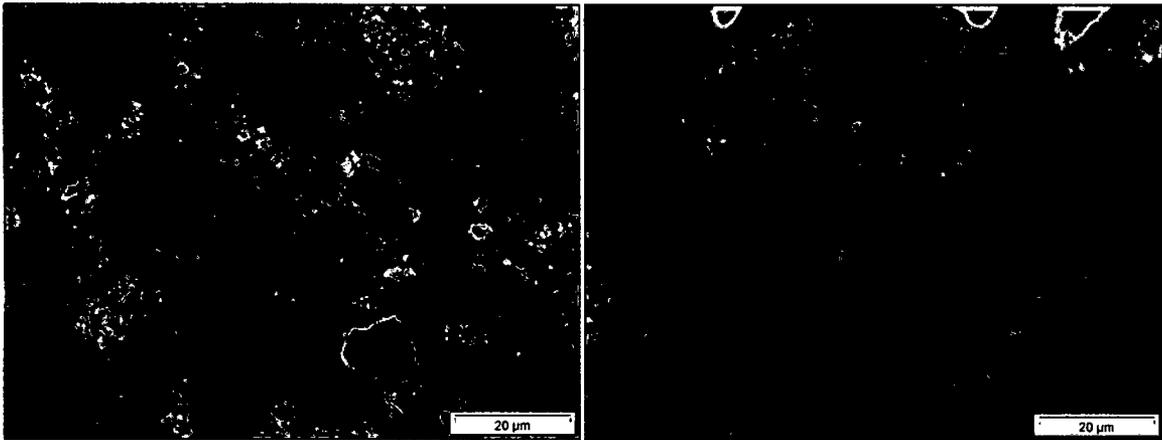
**Fotos 34.- Microfoto de Caliza Grainstone - Ooesparita**

**5.2.4.3.6 Muestra C108419**



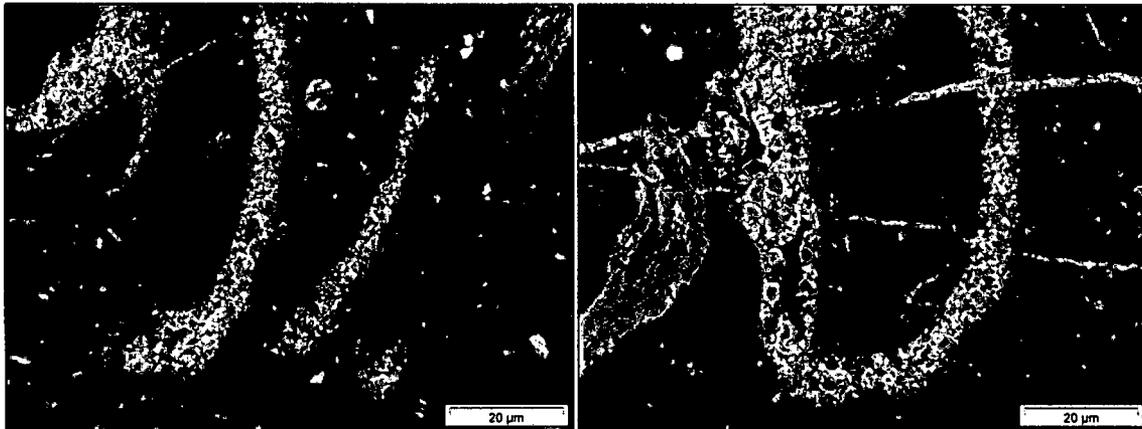
**Fotos 35.- Microfoto de Caliza Grainstone - Ooesparita**

**5.2.4.3.7 Muestra C108421**



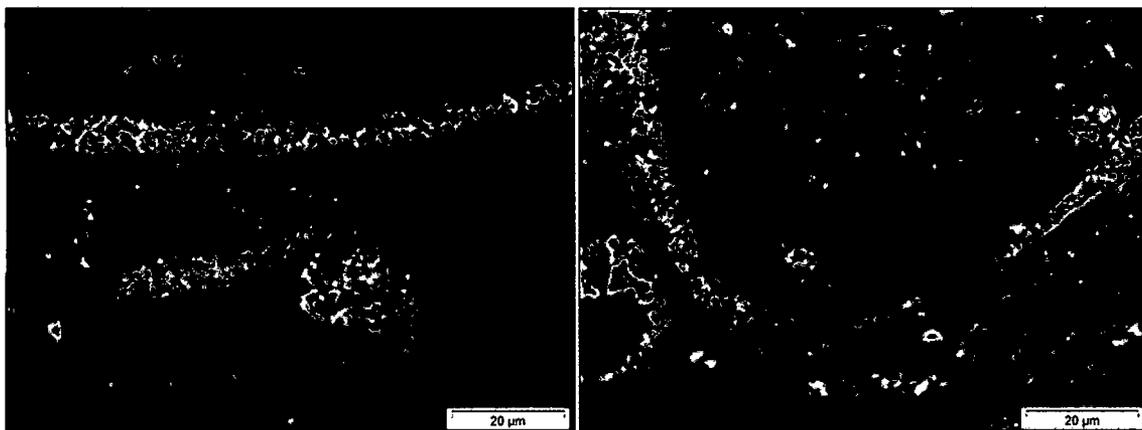
**Fotos 36.- Microfoto de Caliza Grainstone - Ooesparita**

**5.2.4.3.8 Muestra C108425**



**Fotos 37.- Microfoto de Caliza Grainstone**

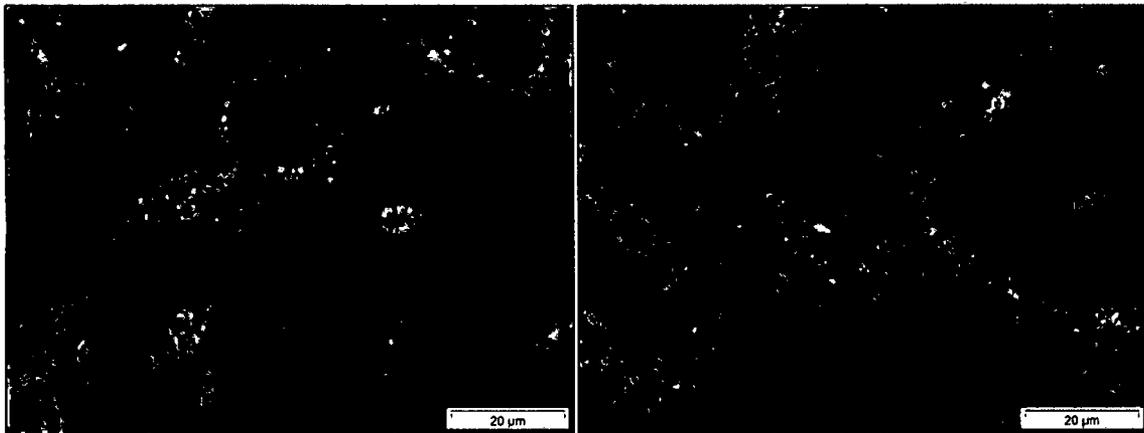
**5.2.4.3.9 Muestra C108426**



**Fotos 38.- Microfoto de Caliza Packstone**

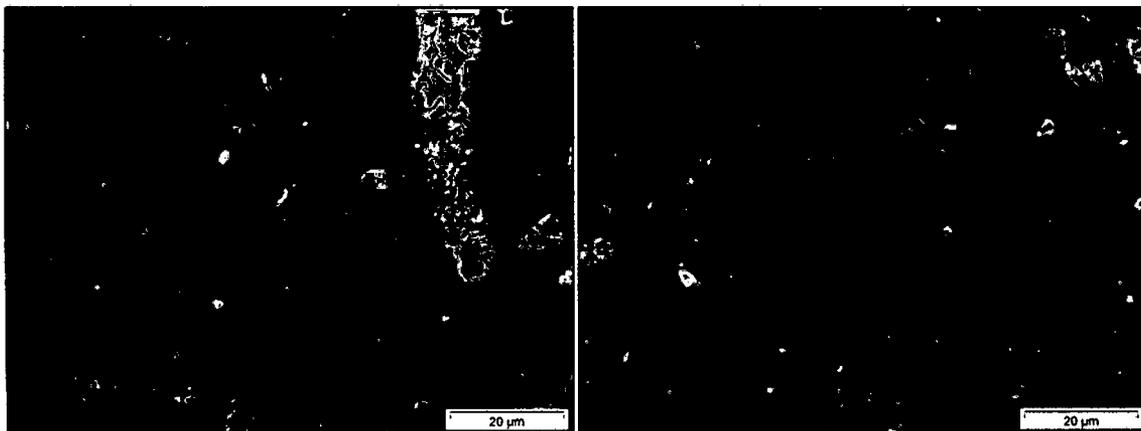
**5.2.4.4 Secciones Delgadas Columna Yunga**

**5.2.4.4.1 Muestra C108433**



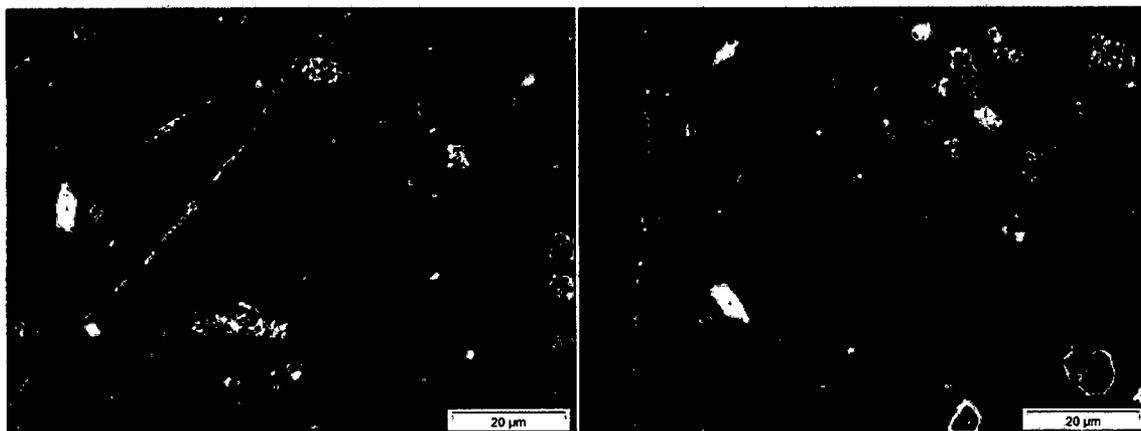
**Fotos 39.- Microfoto de Caliza Grainstone - Ooesparita**

**5.2.4.4.2 Muestra C108437**



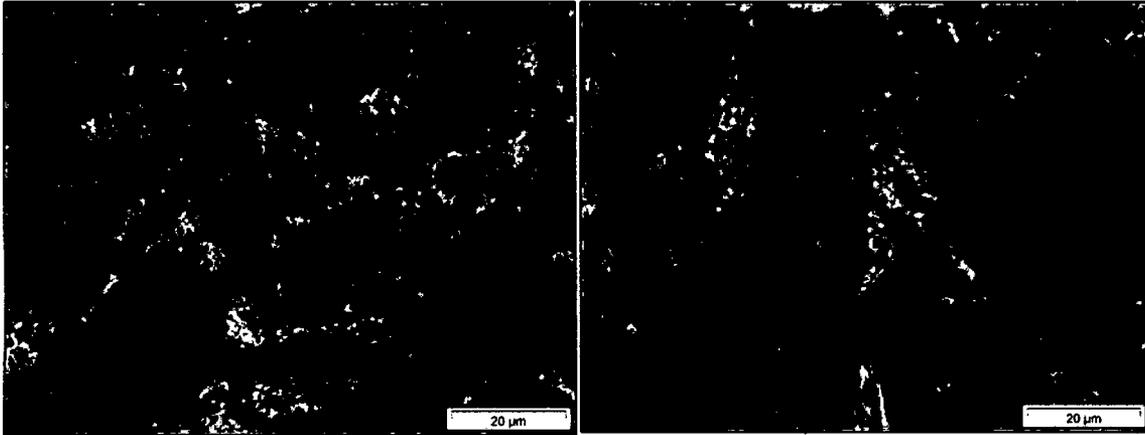
**Fotos 40.- Microfoto de Caliza Wackestone**

**5.2.4.4.3 Muestra C108439**



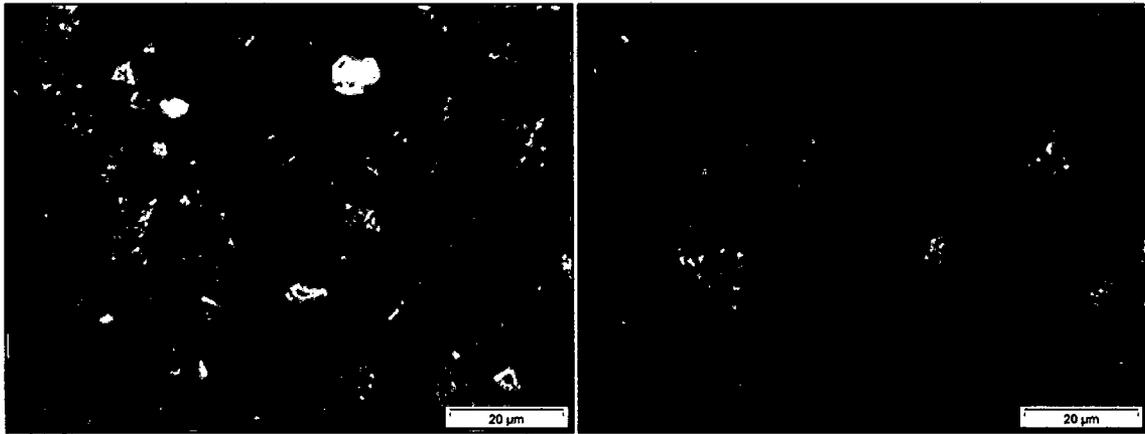
**Fotos 41.- Microfoto de Caliza Wackestone con presencia de Venillas de calcita**

**5.2.4.4 Muestra C108441**



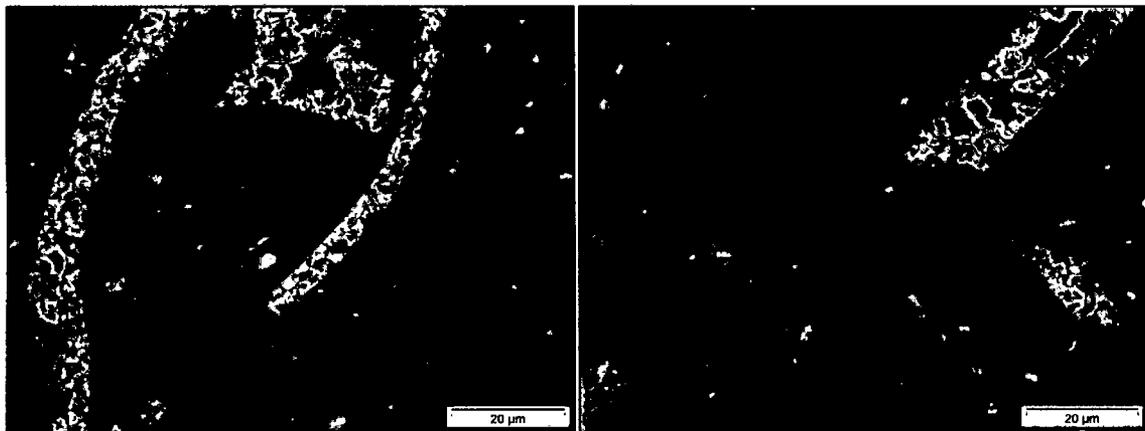
Fotos 42. – Microfoto de Caliza Grainstone - Ooesparita

**5.2.4.5 Muestra C108446**



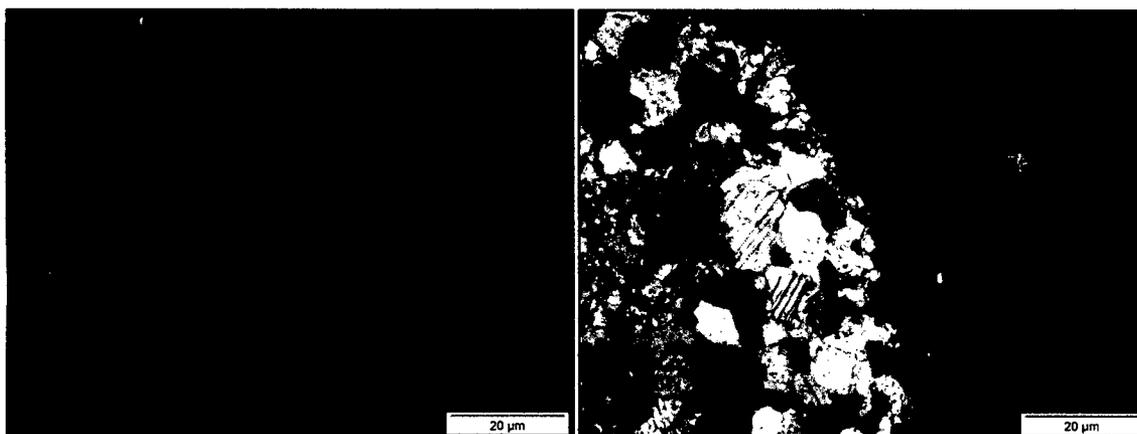
Fotos 43.- Microfoto de Caliza Grainstone - Ooesparita

**5.2.4.6 Muestra C108450**



Fotos 44.- Microfoto de Caliza Wackestone

**5.2.4.4.7 Muestra C108453**



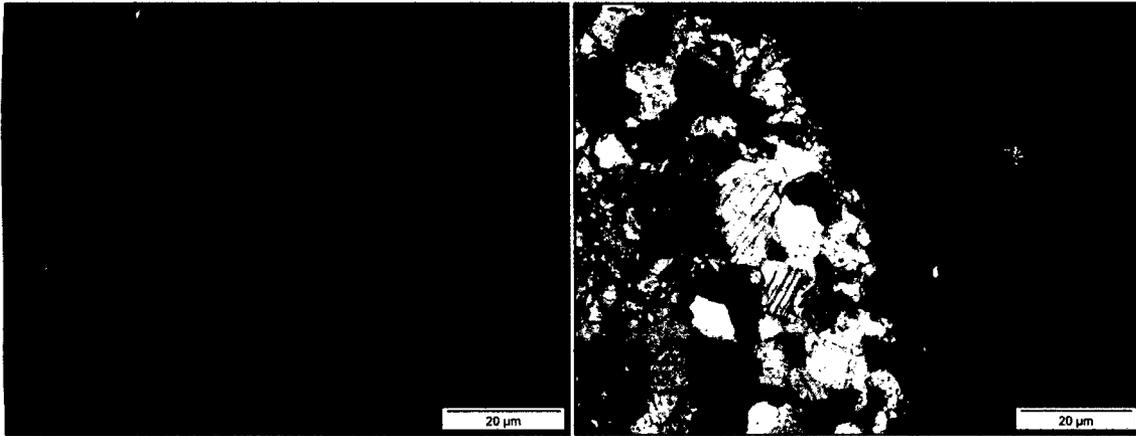
Fotos 45.- Microfoto de Caliza Mudstone

**5.2.5 Contrastación de la Hipótesis**

Se planteó originalmente que existe una relación directa entre las secuencias litológicas, características de sedimentación y estructura geoquímica, en la mineralización del yacimiento Canahuire.

Según la interpretación de secuencias litológicas, se logró identificar que la mineralización del yacimiento está asociada básicamente a la presencia de Calizas, ya que estas albergan la mayor cantidad de mineralización, las secuencias Silicoclásticos presentes en las columnas no alteran ni influyen en la mineralización, ya que al analizar los resultados geoquímicos de sondajes no existe variación considerable en los resultados. Al analizar detalladamente la relación de las características de sedimentación de la Formación Gramadal y su relación con la presencia de mineralización, tenemos que la zona donde se presenta calizas con estratificación ondulada, se tiene las zonas mineralizadas con Au, Ag y Cu más importantes en contenido mineral, principalmente asociados a vetas y zonas enriquecidas.

5.2.4.4.7 Muestra C108453



Fotos 45.- Microfoto de Caliza Mudstone

5.2.5 Contrastación de la Hipótesis

Se planteó originalmente que existe una relación directa entre las secuencias litológicas, características de sedimentación y estructura geoquímica, en la mineralización del yacimiento Canahuire.

Según la interpretación de secuencias litológicas, se logró identificar que la mineralización del yacimiento está asociada básicamente a la presencia de Calizas, ya que estas albergan la mayor cantidad de mineralización, las secuencias Silicoclásticos presentes en las columnas no alteran ni influyen en la mineralización, ya que al analizar los resultados geoquímicos de sondajes no existe variación considerable en los resultados. Al analizar detalladamente la relación de las características de sedimentación de la Formación Gramadal y su relación con la presencia de mineralización, tenemos que la zona donde se presenta calizas con estratificación ondulada, se tiene las zonas mineralizadas con Au, Ag y Cu más importantes en contenido mineral, principalmente asociados a vetas y zonas enriquecidas.

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL  
PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

La estructura geoquímica de las calizas no muestra una relación directa entre la composición Geoquímica de las calizas y las zonas mineralizadas, por lo cual descartamos que la composición geoquímica de las calizas de la Formación Gramadal haya influido de manera determinante en la mineralización del yacimiento Canahuire.

Teniendo en cuenta la interpretación de las secuencias litológicas; y usando la clasificación de microfacies de carbonatos, tenemos que de las 24 microfacies identificadas, para el presente estudio se van a usar sólo 12 microfacies que están presentes en la zona.

Vamos a describir las microfacies presentes mencionando su tipo de SMF, litología de la roca y ambiente de formación.

<b>Tipo de SMF</b>	<b>LITOLOGÍA</b>	<b>AMBIENTE</b>
2	<p><b>Limolitas Microbioclásticas</b></p> <p><b>Cálcicas:</b> Bioclastos pequeños y Peloides en un grano muy fino.</p> <p>Grainstone o Packstone; ondas en pequeñas escalas con laminación cruzada.</p>	<p>Son comunes de mar Abierto cerca de una pendiente baja, y al margen de arrecife profundo.</p>
3	<p><b>Mudstone y Wackestone Pelágicos:</b></p> <p>Matriz de micrita conteniendo fósiles pelágicos dispersos (Ej. Radiolarias) o megafauna.</p>	<p>Cuenca con aguas profundas, comunes de ambientes de sedimentación lenta.</p>

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL  
PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Tipo de SMF</b>	<b>LITOLOGÍA</b>	<b>AMBIENTE</b>
5	<b>Grainstone – Packstone:</b> O Piedra flotante con bioclastos de arrecife.	Facies de flanco de Arrecife.
8	<b>Wackestone con un conjunto de organismos:</b> Buena conservación de infauna y epifauna.	Se lo encuentra en plataforma lagunar, con circulación baja de agua.
9	<b>Wackestone Bioclástica o Micrita Bioclástica:</b> Fragmentos de diversos organismos, bioturbados, los bioclastos se pueden encontrar micritizados.	Se los encuentra en Aguas superficiales con circulación abierta, cerrada al oleaje.
10	<b>Packstone – Wackestone con bioclastos recubiertos y erosionados.</b>	Es un ambiente donde existe recambio textural, ya que se tienen partículas de alta energía dominantes, el ambiente fue cambiado hacia la parte baja de la pendiente a características de baja energía.
11	<b>Grainstone con bioclastos recubiertos, con cemento espático.</b>	Es un ambiente de plataforma con borde de arenas, áreas con constante acción de las olas o bajo la influencia de oleaje.

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL  
PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

<b>Tipo de SMF</b>	<b>LITOLOGÍA</b>	<b>AMBIENTE</b>
<b>12</b>	<b>Coquina, Packstone bioclástico, Grainstone o Boundstone con concentraciones de organismos:</b>  Ciertos tipos de organismos dominantes.	Es un ambiente de pendientes o bordes de plataformas.
<b>13</b>	<b>Oncoid (Bioesparita) Grainstone</b>	Es un ambiente de áreas de moderada a alta energía, agua muy superficial.
<b>15</b>	Oolitas con ooides bien sorteados: fábrica usualmente sobre empaquetado; siempre presenta estratificación cruzada.	Es un ambiente de alta energía con bancos de oolitas. Zonas de playas y barreras de marea.
<b>20</b>	<b>Estromatolitos Mudstones Microbial</b>	Son comunes en ambientes de zonas intertidales.
<b>22</b>	<b>Micrita con Oncoides largos, Wackestone o Floatstone</b>	Es un ambiente de baja Energía, Aguas Superficial, ante arrecife, frecuentemente en los bordes de estanques o canales.

Tabla 35.- Microfacies de tipo SMF

### 5.2.6 Interpretación de la Información

En las columnas estratigráficas levantadas el modo de interpretación debe ser muy cuidadoso ya que la columna Sur como la columna Norte se

encuentra a los extremos del Yacimiento Canahuire pudiendo este haber ocasionado algunas alteraciones tanto en su estructura como en su composición mineralógica.

Las columnas levantadas tienen los siguientes espesores:

- Columna Norte: 429 Metros
- Columna Sur: 306 Metros
- Columna Huanacamaya: 223 Metros
- Columna Yunga: 197 Metros

Se puede observar que en las 4 columnas existen diferencias de espesores debidos principalmente a diferencias en la cuenca al momento de su sedimentación, pudiendo analizar que todas las columnas cuentan con miembros Silicoclásticos compuestos de Areniscas cuarzosas y de Lutitas.

La cantidad de Niveles Silicoclásticos es el siguiente:

- Columna Norte: 5 Niveles Silicoclásticos.
- Columna Sur: 6 Niveles Silicoclásticos.
- Columna Huanacamaya: 5 Niveles Silicoclásticos.
- Columna Yunga: 4 Niveles Silicoclásticos.

En todas las columnas pese a la diferencia de espesores y de cantidad de niveles Silicoclásticos se ha podido establecer una correlación estratigráfica perfecta teniendo como base a los niveles Silicoclásticos y a partir de ellos correlacionar los demás estratos, obteniendo solo variaciones en su espesor mas no en su composición mineralógica.

En todas las columnas se ha podido identificar una zona de una estratificación ondulada en calizas entre el segundo y tercer nivel Silicoclástico; dicha estratificación fue dada por que al momento de la sedimentación existía gran cantidad de ondas de olas las cuales se dieron a la par de la sedimentación. Lo importante de estas capas es que por su naturaleza ondulada son propicias para el paso de fluidos Hidrotermales pudiendo albergar gran cantidad de mineralización y estar altamente alterados con elementos volátiles y Óxidos.

Sucediendo es en el Yacimiento Canahuire ya que se tiene la mayor cantidad de mineralización en las zonas entre el segundo y tercer nivel Silicoclástico, teniendo alteraciones de Siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) realizando un reemplazo de la roca de hasta un 70%. Y también se tiene zonas donde el reemplazo por Sulfuros teniendo que las zonas donde se tiene la estratificación ondulada es la zona más rica para albergar mineralización.

#### **5.2.6.1 Control Sedimentológico de la Mineralización en la Formación Gramadal en el Yacimiento Canahuire**

Después de haber descrito las características sedimentarias de la Formación Gramadal, como son contactos de los planos de estratificación, estratonomía, secuencias, petrología tanto macroscópicamente y en secciones delgadas, así como fases de fracturamiento de la roca. Se realizaron observaciones de cores de taladros, con el fin de determinar el comportamiento de las facies reconocidas en las columnas levantadas, en relación a los fluidos

hidrotermales; no obstante que estos tienden a borrar la textura original de las calizas, es posible hacer algunas observaciones.

Se tiene niveles donde toda la roca está completamente alterada por fluidos hidrotermales (principalmente con reemplazamiento por sulfuros), los fluidos en algunos casos han desarrollado estructuras de concreciones (Foto 46), esto se presenta mayormente en rocas con buena porosidad y permeabilidad (Calizas Grainstone), también pueden aprovechar la mayor reactividad del mineral cementante en este caso la calcita esparítica.



**Foto 46.- Mineralización formando concreciones y desarrollando una mineralización pervasiva, profundidad 112.60 Taladro CCP-09-039-sección 0**

La mineralización pervasiva también se puede desarrollar a partir del microfracturamiento, complementado con la buena reactividad de la roca (Caliza Grainstone con microfracturamiento intenso – Foto 47).

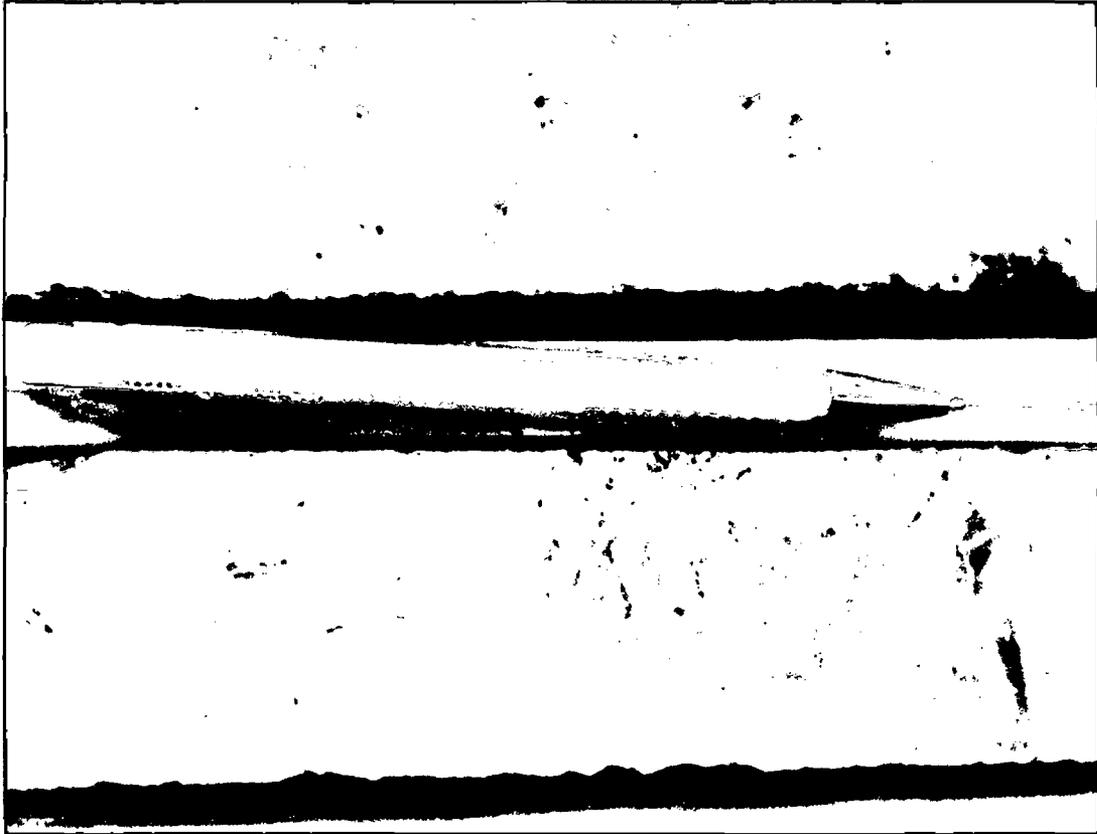
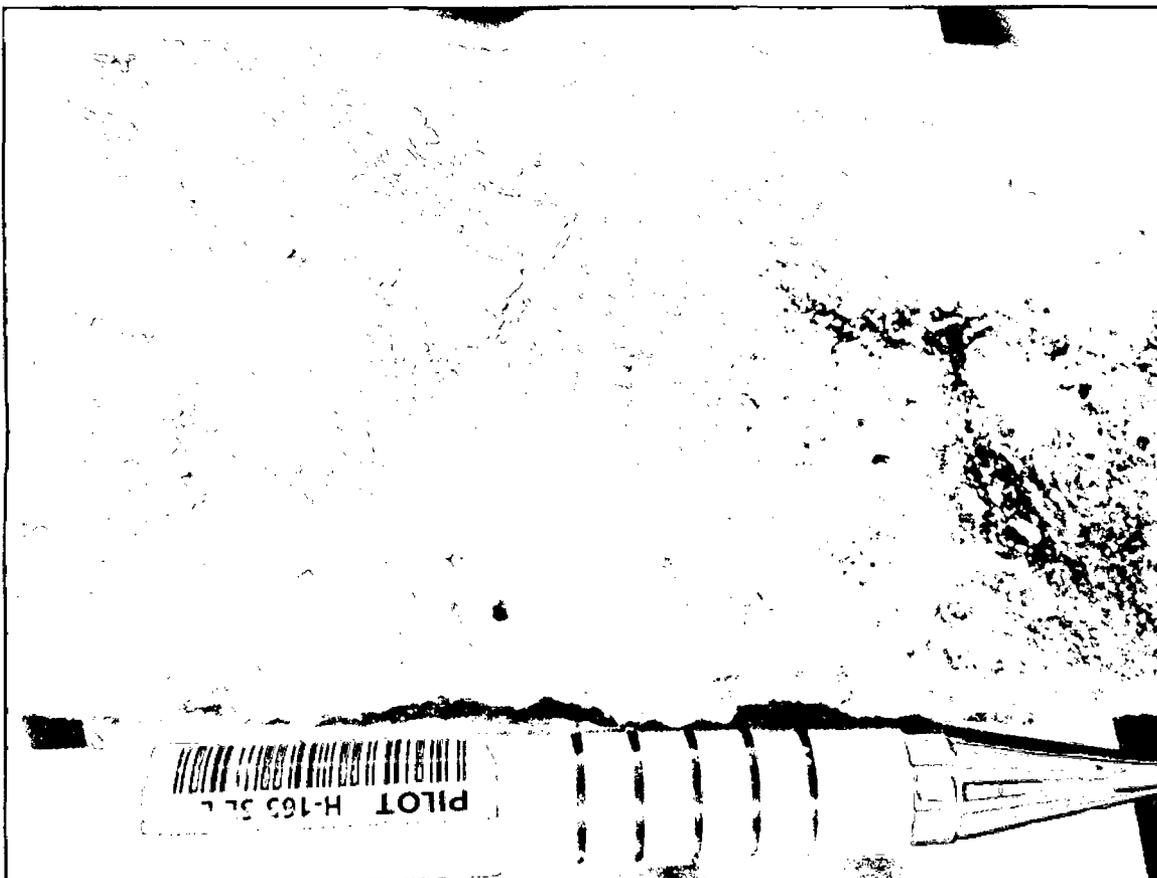


Foto 47.- Mineralización pervasiva a partir de microfracturamiento taladro CCP-09- 052-300W profundidad 106.70 m.

Las Calizas Grainstone bioclásticos (Foto 48) al tener calcita esparítica, tanto como cemento y en la recristalización de los bioclastos, son buenos receptores de los fluidos hidrotermales, el reemplazamiento se da con mayor intensidad en los bioclastos, esto muestra que la calcita reacciona con los fluidos para formar en este caso ankerita.

Los fluidos hidrotermales pueden también aprovechar el microfracturamiento en mudstones (Foto 49 - 50), en este caso la mineralización está restringida a las microfracturas.

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL  
PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**



**Foto 48.- Grainstone bioclástico con mineralización en bioclastos, y en el cemento de la roca**



**Foto 49.- Mineralización en fracturas de Calizas mudstones**



Foto 50.- Taladro CCP10\_072- 400W profundidad 334.5

En los mudstones (Foto 51) que presentan mayor desarrollo de la bioturbación por anélidos, el relleno de estas perforaciones es con material de una textura diferente, durante la diagénesis generalmente estas estructuras se recristalizan con calcita esparítica, en este caso los fluidos hidrotermales se emplazan dando un aspecto moteado a la roca, parches o diseminado.

El emplazamiento de la mineralización en la bioturbación, también se puede apreciar en las intercalaciones clásticas (Foto 52 - 53), se puede apreciar que los fluidos primero se emplazan en el borde de la perforación y en una segunda etapa en el interior de la misma, se aprecia también mineralización en las microfracturas y vetillas.

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL  
PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**

---



**Foto 51.- Calizas Mudstones con mineralización emplazada en la bioturbación, taladro CCP09\_039 profundidad 213.20m**



**Foto 52. Mineralización en la bioturbación desarrollada en una arenisca fina con estructura de flaser bedding, taladro 18-100W, profundidad 255m**



Foto 53.- Mineralización en la bioturbación desarrollada en una arenisca fina con estructura de flaser bedding, taladro 18-100W, profundidad 255m

Las capas de Grainstone, pueden presentar fracturamiento o fallamiento el cual es aprovechado por los fluidos como una porosidad y permeabilidad secundaria, en el presente caso se puede distinguir dos etapas de mineralización (Foto 54 - 55 ) una pervasiva, mayormente que reemplaza toda la roca por siderita-ankerita y desarrolla una estructura concrecional, esta primera etapa desarrolla una porosidad secundaria que es aprovechada por un segundo evento que emplaza sulfuros masivos con mineralización de Au-Cu-Ag. En una secuencia grano estrato creciente hacia arriba los fluidos mineralizan en fracturas los mudstones (Foto 56), mientras que en los Grainstone es pervasiva



**Foto 54.- Dos etapas de mineralización, el primer evento pervasivo en toda la roca y más rica en hierro (siderita-ankerita), el segundo evento con sulfuros masivos**



**Foto 55.- Con sulfuros masivos aprovechando una fractura y porosidad por disolución producida por el primer flujo .taladro CCP08- 18A- sección 100W, profundidad 186.5m**

**“COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN GRAMADAL EN EL  
PROYECTO CHUCAPACA, MOQUEGUA - PERÚ”**



**Foto 56.- Muestra de 2 eventos hidrotermales, el primero pervasivo altera toda la roca (siderita -ankerita),  
reemplaza los bioclastos rellena las fracturas, el segundo gris oscuro rellena con sulfuros las estructuras de disolución  
producidas por el primer evento. Taladro CCP11-275- sección 200W profundidad 454.5m**



**Foto 57.- Mineralización en fracturas de Calizas mudstones y mineralización pervasiva en Calizas  
Grainstone, taladro CCP10-153-300W**

### **5.2.6.2 Facies Favorables para Reacción y Precipitación de los Fluidos**

#### **Hidrotermales**

Teniendo en cuenta las características sedimentarias (estratonomía, secuencias), la petrología sedimentaria, las secciones delgadas, sondajes, análisis geoquímicos.

Las características sedimentarias de la parte inferior de la Formación Gramadal , al presentar esencialmente mudstones en capas centimétricas con estratificación plano paralela y lutitas negras carbonosas tienen porosidades y permeabilidad bajas, tendrían pocas condiciones de albergar fluidos, sin embargo presentan una porosidad secundaria debido a un microfracturamiento y bioturbación el cual es aprovechado por los fluidos hidrotermales para precipitar minerales, en este miembro intercalan algunas Calizas Packstones y Grainstone que son favorables a la precipitación de minerales.

En la parte media de la columna de la Formación Gramadal; si bien la parte inferior de las secuencias son mudstones estos se presentan en estratificación ondulada , esta debido a las fuerzas de compresión que dan origen al plegamiento que afecta a las unidades estratigráficas de la zona, le produce un pequeño despegue entre capa y capa ,originando una porosidad secundaria por espacios abiertos; la parte superior de las secuencias son capas métricas de Calizas Grainstone bioclásticos con cemento esparítico, los bioclastos están recristalizados con esparita, estas capas están también afectadas por dos etapas de microfracturamiento los cuales son visibles en las secciones delgadas,

además en afloramiento es visible un tercer fracturamiento relleno con calcita cuya abertura es de escala centimétrica estaría relacionado a un evento tectónico, estos estratos por su textura tiene una mayor fragilidad que los mudstones de la parte inferior ; todos estos aspectos junto con la mayor reactividad de la calcita esparítica, hacen que estas secuencias y en especial los topes sean las más favorables para la reacción y recepción de los fluidos hidrotermales.

La parte superior de la Columna Estratigráfica de la Formación Gramadal está compuesto por paquetes de Calizas Mudstones con escasas intercalaciones de Calizas Grainstone y Wackestone, paquetes de lutitas negras, las cuales reaccionan pero tienen menores condiciones que el miembro medio como roca receptora de fluidos hidrotermales, sin embargo tiene mejores condiciones que la parte inferior.

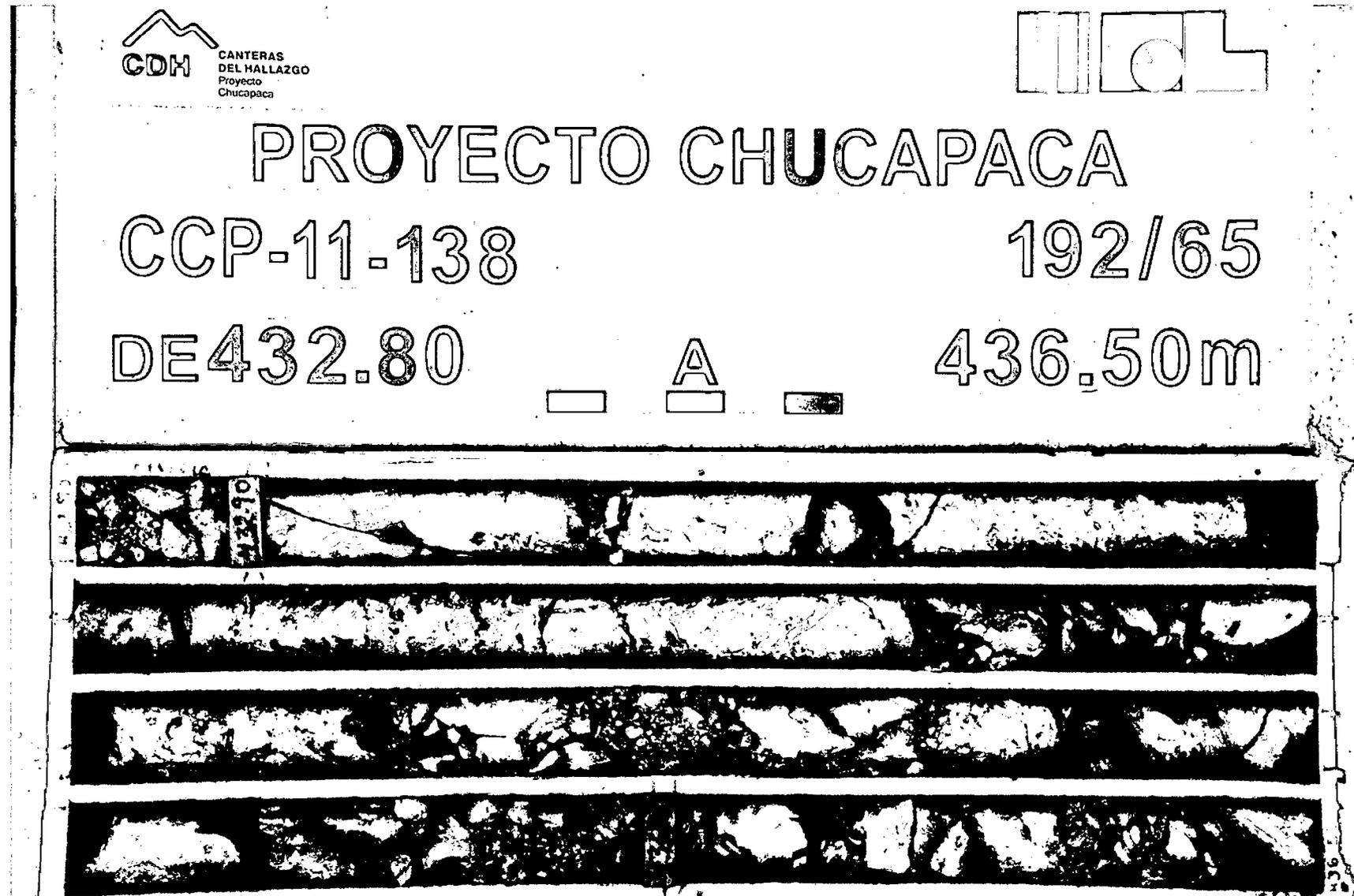


Foto 58.- Caja de Perforación Diamantina con presencia de muestras con Reemplazamiento de calizas por Siderita.

## **CONCLUSIONES**

- Se logró identificar todas las unidades litológicas presentes dentro de la Formación Gramadal, observando que se han tenido varios eventos de trasgresión y de regresión ocasionando que se tengan niveles Silicoclásticos, los cuales en ese momento eran zonas de barreras. La cuenca estudiada presenta una sedimentación Homogénea a pesar de presentar diferentes espesores los cuales se dieron por la forma original de la cuenca.
- El ambiente sedimentario de la Formación Gramadal corresponde a una plataforma carbonatada externa (Mar Abierto).
- Se logró identificar una zona propicia para la mineralización por presentar una estratificación Ondulante; actuando así como una zona de debilidad para que los fluidos hidrotermales fluyan y exista un reemplazamiento de las calizas.; además de presentar calizas de alta pureza que al combinarse con fluidos hidrotermales ácidos generaron un ambiente favorable para albergar mineralización.
- La mineralización tiene un control sedimentológico, basado en la petrología de las calizas así, las Calizas Grainstone bioclásticos, Packstones y Wackestone son los más receptivos, por su mayor porosidad, permeabilidad y mayor reactividad de la calcita esparítica. En cambio las Calizas Mudstone, son facies petrológicas más refractarias para los fluidos hidrotermales debido a su grano fino y baja permeabilidad, la mineralización esta mayormente restringida a la bioturbación, micro fracturas y vetillas.

- Las muestras en sección delgada muestran venillas de calcita las cuales se cortan entre ellas por ser parte de eventos distintos, evidenciando micro fracturas presentes en las rocas ocasionadas por el alto grado de fallamiento en la zona.
- La alteración hidrotermal generalizada se encuentra en las brechas y Diatrema centradas sobre los conductos alimentadores (feeders), al alejarse de esta zona la mineralización es controlada por las características sedimentarias de las calizas.
- En el depósito Canahuire se distinguen dos eventos mineralizantes el primero de carácter pervasivo, compuesto por carbonatos (Siderita-Ankerita), la cual desarrolla estructuras concrecionales en las Calizas Grainstone, el cual desarrolla una estructura cavernosa por disolución de la calcita creando así una porosidad adicional, que es aprovechada por el segundo evento. El segundo evento consiste en una mineralización selectiva de sulfuros rellenando microfracturas y reemplazamiento en venillas de calcita.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a la empresa Canteras del Hallazgo realizar más columnas estratigráficas de la formación Gramadal en las zonas adyacentes para evaluar el comportamiento regional de la cuenca.
- Se recomienda a la empresa Canteras del Hallazgo realizar más estudios en la Formación Gramadal para poder determinar si está albergando algún otro yacimiento oculto.
- Se recomienda a la empresa Canteras del Hallazgo elaborar una columna estratigráfica del Grupo Yura presente en la zona de estudio para correlacionarla con la columna del Grupo Yura ubicado en la Región Arequipa y así poder encontrar las diferencias entre las cuencas de sedimentación.
- Se recomienda a la empresa Canteras del Hallazgo realizar un cartografiado la Formación Gramadal que puedan estar ocultas bajo los domos Volcánicos alrededores de la zona del Proyecto Chucapaca, ya que pueden estar albergando mineralización económicamente rentable.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Boggs Jr. Sam (2006), *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*, 159 - 196
- Flugel Erik (2009), *Microfacies de Carbonate Rocks, Analysis and Application*, 53 - 242
- Howel Williams, Turner Francis J., Gilbert Charles M. (1968); *Petrografía, Introducción al estudio de las rocas en secciones Delgadas*; 351 - 376
- Maurice E. Tucker y V. Paul Wright (1990), *Carbonate Sedimentology*, 1 - 362
- Moore C.H. (1997), *Carbonate Diagenesis and Porosity*, 1- 73
- Morse John W. y Mackenzie Fred T. (1990), *Geochemistry of Sedimentary Carbonates*, 1 - 131
- Parker Steve (2009), *The World Encyclopedia of Fossils & Fossil – Collecting*, 1 - 191
- Peter A. Scholle y Dana S. Ulmer – Scholle (2003), *A color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, Porosity, diagenesis. Second Edition*; 53 - 72
- Peter A. Scholle, Don G. Bebout, y Clyde H. Moore (2006); *Carbonate Depositional Environments. Fifth Printing*, 211-440
- Remigio Fernando (2012); *Domos, Diatremas y Piroclásticos del Complejo Volcánico Chucapaca, evidencias auríferas de sistemas Epitermales*; 16 - 60
- Rollinson Hugh (1993), *Using Geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*; 1 - 149
- Schlager Wolfgang (2005), *Carbonate Sedimentology and Sequences Stratigraphy*, 13 - 72
- Scholle Peter A. y Ulmer-Scholle Dana S. (2003); *A color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, porosity, diagenesis*; 283 - 312

# **PLANOS**