

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



TESIS

**PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS
CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA**

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO

AUTOR:

Bach. Cerdán Vásquez, Nilton Heiner

ASESOR:

M. Cs. Ing. Arapa Vilca, Víctor Ausberto

Cajamarca – Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : **Nilton Heiner Cerdán Vásquez**
DNI : **77666069**
Escuela Profesional : **Ingeniería Geológica**

2. Asesor : **Víctor Ausberto Arapa Vilca**
Facultad : **Ingeniería**

3. Grado académico o título profesional

Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

1. Título de Trabajo de Investigación: **PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA**

2. Fecha de evaluación : **22/08/2024**

3. Software antiplagio: **TURNITIN** **URKUND (OURIGINAL) (*)**

4. Porcentaje de Informe de Similitud : **10 %**

5. Código Documento : **3117:375283140**

6. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: **25/08/2024**

| | | |
|---|--|---|
|  |  | Firmado digitalmente por: FERNANDEZ LEON Yvonne Katherine FAU 20148258601 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 25/08/2024 09:55:52-0500 |
| <p>FIRMA DEL ASESOR</p> | <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p> | |
| <p>Nombres y Apellidos: Víctor Ausberto Arapa Vilca</p> | | |
| <p>DNI : 29552145</p> | | |

AGRADECIMIENTO

Al mejor ingeniero de todos los tiempos, Dios

A mi alma mater Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por haberme permitido formarme en sus aulas, compartiendo experiencias y años de aprendizaje, y enseñarme que los sueños se alcanzan con constancia, dedicación y esfuerzo.

A mis maestros de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, especialmente a mi asesor M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca, por su disposición y orientación en la realización de este proyecto

A mi padre Jorge Cerdán, mi madre Flor Noemí, mi Esposa Erlita Medina y mis hermanos Jorge y Neiser; gracias por su apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A mi querido padre Jorge Cerdán Vásquez, por los ejemplos de trabajo, perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundido siempre.

A mi segunda madre Flor Noemí Cerdán Vásquez, por haberme apoyado en todo momento, cargando sobre sus hombros la responsabilidad de criarme, y llenar ese vacío que dejó mi madrecita Elena Vásquez Tarrillo.

A mi amada esposa Eydi Erlita Medina Villalobos, por ser la mayor motivación en mi vida encaminada al éxito.

A mis hermanos Jorge Roelito y Neiser Elí y a la memoria y recuerdo de mis inolvidables familiares que gozan en el Oriente Eterno: Mi madre Elena Vásquez Tarrillo y mi hermano César Augusto Cerdán.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|----------------------------------|-------|
| AGRADECIMIENTO | i |
| DEDICATORIA..... | ii |
| ÍNDICE GENERAL | iii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ix |
| ÍNDICE DE FOTOS | xii |
| ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFÍAS | xiv |
| LISTA DE ABREVIATURAS | xvi |
| RESUMEN..... | xviii |
| ABSTRACT | xix |

CAPÍTULO I

| | Pág. |
|--------------------|------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | Pág. |
|--------------------------------------|------|
| 2.1. ANTECEDENTES..... | 3 |
| 2.1.1. Internacionales..... | 3 |
| 2.1.2. Nacionales..... | 4 |
| 2.1.3. Locales | 5 |
| 2.2. BASES TEÓRICAS | 5 |
| 2.2.1. Petrología..... | 5 |
| 2.2.2. Petrología Sedimentaria | 6 |

| | | |
|---------------|---|----|
| 2.2.3. | Petrografía | 6 |
| 2.2.4. | Rocas Sedimentarias | 6 |
| 2.2.5. | Rocas Sedimentarias Clásticas | 7 |
| 2.2.5.1. | Textura de las Rocas Sedimentarias Clásticas..... | 7 |
| 2.2.6. | Areniscas | 19 |
| 2.2.6.1. | Componentes detríticos de las areniscas..... | 20 |
| 2.2.6.2. | Clasificación de areniscas..... | 27 |
| 2.2.6.3. | Procedencia y emplazamiento tectónico de las areniscas..... | 32 |
| 2.3. | DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS | 38 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | Pág. | |
|---------------|--|----|
| 3.1. | UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 39 |
| 3.1.1. | Política | 39 |
| 3.1.2. | Geográfica | 39 |
| 3.1.3. | Accesibilidad | 39 |
| 3.2. | PROCEDIMIENTOS | 40 |
| 3.2.1. | Etapa preliminar de gabinete | 40 |
| 3.2.2. | Etapa de campo | 40 |
| 3.2.3. | Etapa de gabinete | 41 |
| 3.3. | METODOLOGÍA | 41 |
| 3.3.1. | Tipo, Nivel, diseño y método de investigación | 41 |
| 3.3.2. | Población de estudio | 42 |
| 3.3.3. | Muestra | 42 |
| 3.3.4. | Unidad de análisis | 42 |
| 3.3.5. | Definición de variables | 43 |
| 3.3.6. | Técnicas de recolección de datos | 43 |
| 3.3.7. | Equipos y materiales | 43 |
| 3.3.7.1. | Equipos | 43 |
| 3.3.7.2. | Materiales | 44 |
| 3.4. | GEOLOGÍA LOCAL | 45 |
| 3.4.1. | Grupo Goyllarisquizga | 45 |

| | | |
|---------------|------------------------------------|-----------|
| 3.4.1.1. | Formación Farrat | 45 |
| 3.4.1.2. | Depósitos Cuaternarios | 47 |
| 3.5. | MARCO ESTRATIGRÁFICO | 49 |
| 3.5.1. | Miembro Inferior | 49 |
| 3.5.2. | Miembro Medio | 49 |
| 3.5.3. | Miembro Superior | 50 |
| 3.6. | GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | 50 |
| 3.5.1. | Fallas | 51 |
| 3.5.1.1. | Falla Cortaderas | 52 |
| 3.5.1.2. | Falla del Mirador San Cirilo | 54 |
| 3.5.1.3. | Falla de la Laguna Azul | 55 |
| 3.5.2. | Mineralización | 55 |

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

| | Pág. | |
|---------------|---|-----------|
| 4.1. | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 58 |
| 4.1.1. | Caracterización Petrográfica | 58 |
| 4.1.1.1. | Caracterización petrográfica de la muestra M – 06 | 60 |
| 4.1.1.2. | Caracterización petrográfica de la muestra M – 10 | 64 |
| 4.1.1.3. | Caracterización petrográfica de la muestra M – 17 | 69 |
| 4.1.1.4. | Caracterización petrográfica de la muestra M – 19 | 73 |
| 4.1.2. | Clasificación de Areniscas | 78 |
| 4.1.3. | Procedencia | 81 |
| 4.2. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 85 |
| 4.3. | CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS | 86 |

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | Pág. | |
|-------------|------------------------------|-----------|
| 5.1. | CONCLUSIONES | 87 |
| 5.2. | RECOMENDACIONES | 88 |

| | |
|---|-----------|
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 89 |
| ANEXOS | 97 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Clasificación de rocas sedimentarias clásticas según la escala de tamaño de grano propuesta por Udden y Wentworth, (1922). | 9 |
| Tabla 2. Clasificación según la desviación estándar..... | 10 |
| Tabla 3. Términos de madurez mineralógica y su composición común..... | 16 |
| Tabla 4. Principales cementantes en rocas sedimentarias..... | 17 |
| Tabla 5. Clasificación de las estructuras sedimentarias..... | 19 |
| Tabla 6. Características de los distintos tipos de cuarzo y su procedencia. | 23 |
| Tabla 7. Procedencia y estabilidad de las micas más comunes en sedimentos | 25 |
| Tabla 8. Procedencia de los minerales pesados comunes en las rocas sedimentarias. | 26 |
| Tabla 9. Valores correspondientes a cada tipo de roca, tomando en cuenta la clasificación de (Pettijohn et al. 1987)..... | 28 |
| Tabla 10. Nomenclatura para las categorías de granos presentes en areniscas. | 34 |
| Tabla 11. Puntos de ubicación geográfica | 39 |
| Tabla 12. Vías de acceso al sector Alto Perú – San Cirilo | 40 |
| Tabla 13. Identificación de variables dependiente e independientes..... | 43 |
| Tabla 14. Abreviaturas, nomenclatura y composición química de las especies minerales que componen a las areniscas. | 59 |
| Tabla 15. Datos de ubicación, clasificación y descripción del medio geológico (miembro de la Fm. Farrat) de los 22 ejemplares de mano | 59 |
| Tabla 16. Descripción mineralógica microscópica de la muestra M – 06..... | 61 |
| Tabla 17. Texturas principales, estilo de alteración y tipo de contacto de la muestra M - 06 | 62 |
| Tabla 18. Tipo de alteración y asociación mineralógica, muestra M - 06..... | 62 |
| Tabla 19. Descripción mineralógica microscópica de la muestra M - 10..... | 65 |
| Tabla 20. Texturas principales y tipo de contacto de la muestra M - 10. | 66 |
| Tabla 21. Tipo de alteración y asociación mineralógica, muestra M - 10..... | 66 |
| Tabla 22. Descripción mineralógica microscópica de la muestra M - 17..... | 70 |
| Tabla 23. Texturas principales y tipo de contacto de la muestra M - 17 | 71 |
| Tabla 24. Tipo de alteración y asociación mineralógica, muestra M - 17..... | 71 |
| Tabla 25. Descripción mineralógica microscópica de la muestra M - 19..... | 75 |
| Tabla 26. Texturas principales y tipo de contacto de la muestra M - 19..... | 76 |

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 27. Tipo de alteración y asociación mineralógica, muestra M - 19..... | 76 |
| Tabla 28. Sumatoria de porcentajes de cada componente para las cuatro muestras..... | 79 |
| Tabla 29. Contenido porcentual de cuarzo (Q), feldspatos (F) y líticos (L)..... | 79 |
| Tabla 30. Cálculo modal y determinación de los porcentajes para los triángulos Qt - F - L y Qm -F - Lt..... | 81 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Esquema de clasificación para rocas sedimentarias según su origen (Nichols, 2009)..... | 7 |
| Figura 2. Esquema de estructuración de una roca detrítica (Arribas, 2010)..... | 7 |
| Figura 3. Comparación textural que muestra el grado de clasificación. Cada sección está etiquetada con su descripción de clasificación verbal según Folk (1968). Tomado y traducido de (Boggs, 2009)..... | 10 |
| Figura 4. Las cuatro clases de la forma del grano: esferas, discos, varillas y láminas, basadas en el índice de la forma y el índice disco - Varilla. L, I y S representan respectivamente los ejes largo, intermedio y corto de los granos. Tomado y traducido de (Tucker, 2003), basado en (Illenberger, 1991)..... | 11 |
| Figura 5. Esfericidad expresada en valores de 0.3 a 0.9 asociado con la forma de los clastos. Modificado por (Hernández U. , 2017) de Pettijohn, 1975..... | 12 |
| Figura 6. Carta de comparación visual para redondez y esfericidad de Powers, 1953. Tomado de (Hernández U. , 2017)..... | 13 |
| Figura 7. Tipos de empaque representado por partículas esféricas de igual tamaño, según Graton y Fraser (1935). Modificado de Pettijohn, (1975)..... | 14 |
| Figura 8. Ilustración esquemática de los principales tipos de contactos de grano: Flotante, puntual, longitudinal, cóncavo-convexo y suturado. Modificado por (Hernández U. , 2017) de Castro 1989 y Pettijohn et al., 1987..... | 14 |
| Figura 9. A. Granos laminares o escamosos depositados en agua tranquila sobre un lecho plano. B. Granos alargados depositados en disposición aleatoria en aguas tranquilas. Tomado de (Boggs, 2009)..... | 15 |
| Figura 10. Disposición hipotética y esquemática de granos en sedimentos. C. Granos alargados depositados bajo el flujo de corriente con dimensiones largas paralelas al flujo de corriente. D. Granos alargados depositados bajo el flujo de corriente con dimensiones largas perpendiculares al flujo de corriente. E. Granos alargados depositados en un arreglo imbricado bajo el flujo de corriente. Tomado de (Boggs, 2009)..... | 15 |
| Figura 11. Arenisca rica en cuarzo impregnada con resina epoxi (azul) (flecha blanca, parte inferior izquierda) para revelar la porosidad (Boggs, 2009)..... | 18 |
| Figura 12. Ejemplos de varios tipos de fragmentos de rocas detríticas comunes..... | 21 |

| | |
|---|----|
| Figura 13. Microfotografía de una arenisca: los granos son todos de cuarzo, sin embargo, aparecen diferentes tonos de gris bajo los polos cruzados debido a las diferentes orientaciones de los granos. Tomado y traducido de Nichols, (2009) | 21 |
| Figura 14. a) Granos de cuarzo monocristalinos y morfología subredondeada; b) Cuarzo policristalino | 22 |
| Figura 15. Arenisca cuarzosa, en la que se puede observar una lámina de mica en el centro de la fotografía rodeada de cristales pequeños de relieve débil. Adams et al. (1997) | 24 |
| Figura 16. Clasificación de Pettijohn et al. (1987), tomado de (Jabbour et al., 2009) | 28 |
| Figura 17. Diagrama triangular de Pettijohn et al. (1987), modificado de (Adewumi, 2016) | 29 |
| Figura 18. Campos composicionales de los distintos tipos de procedencia de arenas en diagramas triangulares QtFL (cuarzo total-Feldespatos-Fragmentos de roca lábiles) y QmFLt (cuarzo monocristalino-Feldespatos-Total de granos lábiles). Modificado de Dickinson et al. (1983) (Arribas, 2010). | 33 |
| Figura 19. Esquema de los principales cratones en América Latina, y la formación de cuencas sedimentarias a partir de estos. Extraído de (Cordani et al., 2009). | 35 |
| Figura 20. Representación del ambiente tectónico de basamento elevado. Los sedimentos derivan de los hombros del rift (área fuente), consolidando areniscas feldespáticas y arcosas en la cuenca, el espesor de los estratos no es constante y está controlado por el fallamiento activo. Modificado de Zhuo et al. (2013). ... | 36 |
| Figura 21. Cuenca de antearco asociado a zonas de subducción de placa. Los sedimentos ricos en líticos volcánicos derivan de la erosión del arco. Tomado de Takano et al. (2013). | 37 |
| Figura 22. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M – 06. (Mine Metallurgy S.A.C., 2023). | 60 |
| Figura 23. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M – 10. | 64 |
| Figura 24. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M – 17. | 69 |
| Figura 25. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M – 19. Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023). | 74 |
| Figura 26. Clasificación de areniscas de la Formación Farrat, en el sector Alto Perú – San Cirilo, según el criterio de Pettijohn (1987). | 80 |

Figura 27. Madurez en la proveniencia del sedimento de las areniscas de la Formación Farrat en el diagrama ternario Qt-F-L planteado por (Dickinson W. R., 1985)... 82

Figura 28. Determinación de la procedencia en función a la composición de las areniscas mediante el diagrama ternario Qm-F-Lt planteado por (Dickinson W. R., 1985).
..... 82

Figura 29. Geocronología de circones detríticos U-Pb del Grupo Goyllarisquizga, el cual muestra que éste deriva del Cratón Brasileño. Muestras tomadas en la cuenca Santiago. Imagen tomada de George et al. (2019). 83

ÍNDICE DE FOTOS

| | Pág. |
|---|------|
| Foto 1. Areniscas grises de grano fino con pátinas rojizas de óxido, intercaladas con pequeños lechos de arcillitas bituminosas – miembro Inferior de la Formación Farrat..... | 46 |
| Foto 2. Areniscas cuarzosas de grano medio a grueso – miembro medio de la Fm. Farrat | 46 |
| Foto 3. Areniscas cuarzosas de grano medio con bandas de grano grueso – Miembro Superior de la Formación Farrat. | 47 |
| Foto 4. Cuaternario Fluvioglaciario en el corte de la Cantera Quebrada Honda, presenta gravas cantos y bloques subredondeados no consolidados de más de 25 cm de diámetro en una matriz limosa..... | 48 |
| Foto 5. Exposición de depósitos cuaternarios de origen glaciario en el corte de la carretera Alto Perú – San Cirilo, nótese la mala distribución de gravas, cantos y bloques subangulosos de más de 25 cm de diámetro en una matriz limo-arcillosa..... | 48 |
| Foto 6. Vista panorámica del miembro inferior de la Formación Farrat | 49 |
| Foto 7. Vista panorámica del miembro medio de la Formación Farrat. | 50 |
| Foto 8. Cinemática dextral de la Falla Cortaderas, la cual describe el movimiento de los estratos del sector NE con respecto al bloque SW de las Formación Farrat. | 52 |
| Foto 9. Plano de desplazamiento de la Falla Cortaderas, punto de coordenadas, N: 9237682 y E: 763632 / cota: 3933 msnm | 53 |
| Foto 10. Brecha hidrotermal cementada en roca fragmentada por la Falla Cortaderas. Coordenadas de la fotografía, N: 9237639 y E: 763656 / cota: 3957 msnm..... | 53 |
| Foto 11. Desplazamiento progresivo del bloque NE con respecto al bloque SW - Falla del Mirador San Cirilo..... | 54 |
| Foto 12. Cinemática Sinistral controlada por la Falla del Mirador San Cirilo | 54 |
| Foto 13. Desplazamiento de rumbo de la falla de la Laguna Azul | 55 |
| Foto 14. Emplazamiento de la Veta de la Cantera Quebrada Honda en los estratos de la Formación Farrat, en el corte de la cantera Quebrada Honda. Coordenadas fotográficas: N: 9237818 y E: 763006. Dirección N355° y buzamiento 68° NE.... | 56 |
| Foto 15. Veta de la Cantera San Cirilo emplazada en areniscas de la Fm. Farrat. Dirección N190° Y buzamiento 42°NW. Coordenadas fotográficas: N: 9236184 y E: 764416 | 56 |

Foto 16. Estructuras Stockwork mostradas a lo largo de la falla Cortaderas. Describen concentraciones de limonita, hematita, goethita y jarosita relleno de cavidades. .. 57

Foto 17. Sulfuros primarios y tipo de alteración..... 57

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFÍAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Fotomicrografía 01. Detritos de cuarzo I (cz I) mal clasificados..... | 63 |
| Fotomicrografía 02. Agregados de cuarzo I (cz I) que se observan con bandas de cuarzo de cuarzo III (cz III)..... | 63 |
| Fotomicrografía 03. Detritos de cuarzo I (cz I) con sericita (ser) como parte de la matriz entre intersticios. | 63 |
| Fotomicrografía 04. Se observa la matriz entre los detritos compuesta por cuarzo II (cz II) siendo teñida en algunas zonas por los óxidos de hierro (OXsFe), se tiene también óxidos (OXsFe) y sericita (ser) en los intersticios. | 63 |
| Fotomicrografía 05. Cristal subhedral de zircón (zir) de bordes rectos a subredondeados que se encuentra sobre los detritos. | 64 |
| Fotomicrografía 06. Cristales subhedrales de bordes rectos de rutilo (rut) sobre los detritos de cuarzo II (cz II) con presencia de óxidos de hierro (OXsFe) en los intersticios de los detritos. | 64 |
| Fotomicrografía 07. Cristal irregular de epidota incluido en cuarzo I y fragmentos silicificado..... | 67 |
| Fotomicrografía 08. Cristal subhedral de zircón (zir) en cuarzo I (cz I). | 67 |
| Fotomicrografía 09. Fragmento subhedrales de fragmentos de rocas (FR)..... | 67 |
| Fotomicrografía 10. Fragmento subhedrales de fragmentos de rocas (FR)..... | 67 |
| Fotomicrografía 11. Agregados de illita-sericita (ill-ser) ocupando intersticios de detritos cristales de cuarzo I (cz I)..... | 68 |
| Fotomicrografía 12. Agregados de sericita (ser) ocupando intersticios de detritos cristales de cuarzo I (cz I)..... | 68 |
| Fotomicrografía 13. Foto panorámica en donde se puede observar los detritos de cuarzo I (cz I), con diseminación de minerales opacos (OPs), y presencia de fragmentos líticos silicificados (FL). Los detritos están recristalizados.. | 68 |
| Fotomicrografía 14. Cristal subhedral de epidota (ep) en el cuarzo I (cz I). | 72 |
| Fotomicrografía 15. Cristal subhedral de epidota (ep) en el cuarzo I (cz I), con presencia de sericita – illita (ser-ill) en los intersticios..... | 72 |

| | Pág. |
|--|-------------|
| Fotomicrografía 16. Presencia de fragmento lítico (FL), y distribución de con minerales opacos (OPs)..... | 72 |
| Fotomicrografía 17. Cristales de cuarzo II (cz II) en intersticios del cuarzo I (cz I)..... | 72 |
| Fotomicrografía 18. Cristales de cuarzo I (cz I) con diseminación de minerales opacos (OPs)..... | 73 |
| Fotomicrografía 19. Cristales de cuarzo I (cz I) con diseminación de minerales opacos (OPs)..... | 73 |
| Fotomicrografía 20. Foto panorámica de los detritos subredondeados de cuarzo I (cz I), diseminación de minerales opacos (OPs), y presencia de fragmentos de roca (FR)..... | 73 |
| Fotomicrografía 21. Cristales anhedrales de bordes irregulares y subhedrales de bordes rectos de cuarzo I (cz I)..... | 77 |
| Fotomicrografía 22. Se observa como matriz a los agregados microcristalinos de cuarzo II (cz II) junto a sericita (ser) entre los detritos de cuarzo I (cz I)..... | 77 |
| Fotomicrografía 23. Sericita (ser) fibrosa como parte de la matriz entre los intersticios de cuarzo I (cz I)..... | 77 |
| Fotomicrografía 24. Se presenta sericita (ser) con minerales arcillosos (ARCs) entre los intersticios de cuarzo I (cz I) siendo teñidos por Óxidos de Hierro (OXsFe)..... | 77 |
| Fotomicrografía 25. Fractura rellena por sericita (ser) y óxidos de hierro (OXsFe), también se observa cristal subhedral de zircón (zir)..... | 78 |
| Fotomicrografía 26. Agregados de cristales anhedrales y subhedrales de rutilo..... | 78 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | | |
|-------------------|---|---|
| FR/ FL | : | Fragmento de Roca / Fragmento Lítico |
| Cz | : | Cuarzo |
| Feld. Na-Ca | : | Feldespatos Sódico – Cálculo |
| Feld K | : | Feldespatos Potásico |
| ep | : | Epídota |
| ser | : | Sericita |
| ill-ser | : | Illita – Sericita |
| Ops | : | Minerales Opacos |
| ARCs | : | Arcillas |
| OXsFe | : | Óxidos de Hierro |
| zir | : | Zircón |
| rut | : | Rutilo |
| ap | : | Apatito |
| CaCO ₃ | : | Carbonatos de Calcio |
| LT | : | Luz Transmitida |
| HCL | : | Ácido Clorhídrico |
| mm | : | Milímetros |
| Cm | : | Centímetros |
| m | : | Metros |
| Km | : | Kilómetros |
| Ha. | : | Hectárea |
| et al. | : | Y otros |
| Fm. | : | Formación |
| Gpo. | : | Grupo |
| INGEMMET | : | Instituto Nacional Geológico Minero y Metalúrgico |
| SENAMHI | : | Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología |
| GPS | : | Sistema de posicionamiento global |
| WGS-84 | : | Sistema Geodésico Mundial 1984 |
| UTM | : | Universal Transversal de Mercator |
| MDE | : | Modelo Digital de Elevaciones |
| m.s.n.m. | : | Metros sobre el nivel del mar |
| Ma. | : | Millones de años |

| | | |
|---------|---|---|
| N | : | Norte |
| S | : | Sur |
| E | : | Este |
| W | : | Oeste |
| NE | : | Noreste |
| NW | : | Noroeste |
| SE | : | Sureste |
| SW | : | Suroeste |
| Au | : | Oro |
| Cu | : | Cobre |
| Mo | : | Molibdeno |
| gr/t | : | Gramos por tonelada |
| QFL | : | Cuarzo, Feldespato y fragmentos líticos. |
| Qt-F-L | : | Cuarzo total - Feldespatos - Fragmentos líticos |
| Qm-FL-t | : | Cuarzo monocristalino – feldespatos – total de fragmentos líticos |
| Qt | : | Cuarzo Total |
| Qm | : | Cuarzo Monocristalino |
| Qp | : | Cuarzo Policristalino |
| Qo | : | Cuarzo Ondulante |
| L | : | Total de Fragmentos Líticos |
| F | : | Feldespatos Totales |
| Lv | : | Fragmentos líticos volcánicos |
| Ls | : | Fragmentos líticos sedimentarios |

RESUMEN

Las areniscas de la Formación Farrat en los caseríos de Alto Perú y San Cirilo, han sido ampliamente estudiadas desde un punto de vista estratigráfico, estructural e hidrogeológico (Moreno, 2019; López, 2014; Guevara, 2020). Sin embargo no se cuenta con estudios petrográficos de clasificación y caracterización, que pueda establecer con precisión no sólo su composición, sino también su procedencia y los eventos diagenéticos que acontecieron durante la depositación y consolidación de las mismas; es por ello, que esta investigación, tiene por objetivo describir y caracterizar composicionalmente las areniscas a partir de las modas detríticas de los granos del entramado. Para tal fin, se han analizado 22 muestras de areniscas, de las cuales 4 de ellas, se ha desarrollado mediante el análisis en secciones delgadas, utilizando un microscopio petrográfico de luz transmitida, permitiendo definir las siguientes características petrográficas: Las areniscas están compuestas por más del 98 % de granos de cuarzo, contenidos menores al 2 % de fragmentos líticos, y cantidades nulas de feldespato, lo que las clasifica como cuarzoarenitas. La matriz y cemento, están constituidos por agregados criptocristalinos de cuarzo policristalino, con impregnaciones de arcillas y óxidos de hierro. Presentan, además, agregados de minerales densos tales como el zircón, rutilo y apatito. La composición ha permitido definir el área fuente de los sedimentos, pues éstos derivan de un cratón interior, probablemente se trate del Cratón Brasileño.

Palabras clave: Petrografía, textura, estructura, petro-mineralogía, clasificación de areniscas, procedencia de sedimentos.

ABSTRACT

The sandstones of the Farrat Formation in the Alto Perú and San Cirilo hamlets have been widely studied from a stratigraphic, structural and hydrogeological point of view (Moreno, 2019; López, 2014; Guevara, 2020). However, there are no petrographic studies for classification and characterization that can accurately establish not only their composition, but also their origin and the diagenetic events that occurred during their deposition and consolidation; That is why this research aims to describe and compositionally characterize the sandstones based on the detrital modes of the grains of the framework. For this purpose, 22 sandstone samples have been analyzed, of which 4 of them have been developed through analysis in thin sections, using a transmitted light petrographic microscope, allowing the following petrographic characteristics to be defined: The sandstones are composed of more 98% of quartz grains, contents of less than 2% of lithic fragments, and zero amounts of feldspar, which classifies them as quartz arenites. The matrix and cement are made up of cryptocrystalline aggregates of polycrystalline quartz, with impregnations of clays and iron oxides. They also present aggregates of dense minerals such as zircon, rutile and apatite. The composition has allowed us to define the source area of the sediments, since they derive from an interior craton, probably the Brazilian Craton.

Keywords: Petrography, texture, structure, petro-mineralogy, sandstone classification, sediment provenance.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las rocas sedimentarias cubren cerca del 80% del total de área terrestre del planeta, de esta cantidad, las areniscas representan el 24 % (Schwennicke y Plata, 2012). Los sedimentos que componen a las areniscas, están constituidas por clastos derivados de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias pre-existentes (Tucker, 2003), éstos, son de vital importancia, ya que nos ayudan a clasificar, caracterizar, determinar su procedencia e interpretar los eventos diagenéticos que estas rocas atravesaron.

En Perú y particularmente en la región de Cajamarca, las areniscas representan el nivel inferior de la secuencia clástica del Cretácico, los afloramientos en esta región, muestran importantes espesores con buena exposición areal, tal es el caso de la Formación Farrat en los caseríos de Alto Perú y San Cirilo, en el sector nororiental del distrito de Tumbadén (San Pablo – Cajamarca), parte integrante de las microcuencas Quebrada Honda y San Cirilo. Estas rocas sedimentarias han sido ampliamente estudiadas desde un punto de vista estratigráfico, estructural e hidrogeológico (Moreno, 2019; López, 2014; Guevara, 2020). Sin embargo no se cuenta con estudios petrográficos de clasificación y caracterización, que pueda establecer con precisión no sólo su composición, sino también su procedencia y los eventos diagenéticos que acontecieron durante la depositación y consolidación de las mismas, por lo que es necesario el análisis de las petrofacies en las areniscas de dicha Formación, definidas a partir de las modas detríticas de los granos del entramado.

Frente a este problema, surge la interrogante, ¿Cuáles son las características petrográficas de las areniscas de la Formación Farrat en los caseríos de Alto Perú y San Cirilo – Cajamarca?

Se plantea que las areniscas de la Formación Farrat en la zona Alto Perú – San Cirilo, petrográficamente, están constituidas por más del 90 por ciento de granos de cuarzo en toda la secuencia y con valores menores al 15 por ciento de matriz y cemento; la ausencia de granos de feldespatos y alto contenido de cuarzo, indicaría que las áreas de aporte sedimentario son lejanas y que los sedimentos han sufrido múltiple reciclaje (depositación) en un ambiente con clima húmedo y bajo relieve, con procedencia de grandes escudos, o de cratón interior.

Esta investigación, tiene como finalidad aportar al conocimiento científico, acerca de la configuración petrográfica composicional de las areniscas; asimismo contribuir en la interpretación sobre la evolución de la orogenia andina, juntamente con los estudios estratigráficos realizados tanto en la zona de Callacpuma, San Cirilo y Baños del Inca - Llacanora (Moreno, 2019; Prado, 2018), estableciendo con precisión no sólo la composición de estas rocas, sino también su procedencia.

Esta investigación tiene por objetivo general, describir petrográficamente las areniscas de la Formación Farrat en los caseríos de Alto Perú y San Cirilo – Cajamarca; y como objetivos específicos, caracterizar composicionalmente las areniscas a partir de los granos del entramado mostradas en secciones delgadas, clasificar las areniscas tomando en cuenta la composición modal, y finalmente, analizar la procedencia de los sedimentos que conforman las areniscas de la Formación Farrat.

La investigación está estructurada en cinco capítulos; el Capítulo I, introducción, consta de los principales aspectos de la investigación, presentándose primeramente el planteamiento del problema en donde se detalla el contexto global, describe la problemática, para finalmente determinar la finalidad de la investigación; a partir de ello se formula el problema y se plantean los objetivos. En el Capítulo II, se detalla el contexto teórico de la investigación, abarcando toda la teoría necesaria para justificar y fundamentar el trabajo. En el Capítulo III se habla sobre la ubicación de la investigación, su accesibilidad, la metodología utilizada, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, además del marco geológico, geomorfológico, estructural y petrográfico. En el Capítulo IV, análisis y discusión de resultados, se interpreta los resultados petrográficos obtenidos a partir de secciones delgadas, así mismo, se contrasta la hipótesis; en el Capítulo V, se da a conocer las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los objetivos planteados, y por último se presentan los anexos de la investigación.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacionales

Pizarro, (2021). En su investigación Estratigrafía y Petrografía de las Areniscas pertenecientes a la Formación San Mateo de la Parroquia Rural Machalilla del Cantón Puerto López, Provincia de Manabí. Designó a las areniscas el nombre de Litarenitas; ya que presentan mayor cantidad de fragmentos líticos (26-56%) y cuarzo (29-53%), y mínima cantidad de feldespatos (10-15%). Asimismo, determinó que los sedimentos que componen a estas, provienen de un ambiente continental, y que posteriormente se depositaron en un ambiente marino profundo, parte intermedia de un abanico marino.

Lothari, et al. (2020). En su investigación Análisis de facies y petrografía de los depósitos del cretácico superior en el norte de la cuenca neuquina: Implicancias para el inicio de la etapa de Foreland, Río Negro – Argentina. Analiza mediante secciones delgadas y difracción de rayos X, la petrografía de ocho muestras de areniscas de grano medio, éstas fueron clasificadas como litoarenitas feldespáticas y litoarenitas, de acuerdo al porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca, el análisis petrográfico realizado, demostró que la fuente sedimentaria de la sucesión analizada es mixta, entre arco disectado y orógeno reciclado.

Garzón, (2018). En su investigación Estudio petrográfico y de proveniencia en rocas sedimentarias de los Cerros Orientales en la vía Bogotá-Choachí. Explicó la proveniencia de los sedimentos que conforman las rocas sedimentarias de dicha cadena montañosa, entre los cuales se encontró circón, utilizando tanto el sistema geocronológico U-Pb (para el circón) y el diagrama de Dickinson et al. (1985) (para el cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca); llegando a la conclusión que tanto los circones como los clastos restantes, provienen del basamento de los Andes de edad más antigua al Paleozoico y de fuentes distantes, es decir, del escudo de Guyana y del cratón de la Amazonía.

Gómez, (2017). En su tesis doctoral denominada Petrología, geoquímica y diagénesis de sedimentitas y fósiles carbonáticos del jurásico superior - cretácico inferior de las cuencas Neuquina y Austral, Argentina. Clasifica a las rocas, en silicoclásticas, mixtas y carbonáticas, donde a través de láminas delgadas y de difracción de rayos X, determinó que en las silicoclásticas el mineral más abundante es el cuarzo, también existen cantidades escasas de calcita, conteniendo como argilominerales a la illita y la clorita. A partir de estos análisis de datos composicionales se definieron las áreas de procedencia de los elementos detríticos, los cuales provendrían de arcos magmáticos, de terrenos volcánicos triásicos y jurásicos tempranos y desde los depósitos de Formaciones subyacentes.

2.1.2. Nacionales

Quiñones y Guadalupe, (2022). En su investigación Análisis Petrográfico de las areniscas de la Formación Cushabatay. Cuenca Marañón. Pozo Tangarana1. Loreto. Analizó la petrografía de las areniscas Cushabatay (Cretácico inferior) con fines de utilizarlas como roca reservorio – Pozo Tangarana, e Identificó, mediante microscopía óptica y microsonda electrónica, areniscas de tipo cuarzoareniscas, con alto porcentaje de cuarzo (>95%) y bajo porcentaje de feldespatos y fragmentos de rocas, con tamaño de grano de medio a grueso, con grado de redondez de subredondeados a subangulosos y moderada selección. Concluyendo que dichas areniscas tienen condiciones moderadas para ser consideradas roca reservorio.

Machaca, (2020). En su investigación Asociación de los ambientes depositacionales y proveniencia sedimentaria del grupo Chicama en el norte peruano (7°30' - 9°30' s). Caracterizó composicionalmente las areniscas de la Formación Chimú y determinó que estas, están compuesta por más del 98% de cuarzo, clasificándolas como cuarzoarenitas y meta cuarzo arenitas de grano medio a grueso, en base a esta composición, determinó que los sedimentos que componen estas rocas, derivan principalmente del Cratón Brasileño y de la región de Sunsás.

Iquiapaza, et al. (2016). En su investigación Petrología y litogeoquímica sedimentaria del Grupo Yura, en el departamento de Tacna (Cuenca Arequipa). Clasificó las rocas del Grupo Yura (Jurásico superior – Cretácico inferior) utilizando los elementos mayores como SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O y K₂O, lo cual permitió establecer al menos dos tipos litológicos,

encontrando un cambio de facies sedimentarias entre la Fm. Puente (y/o Fm. Cachíos) y el resto del Grupo Yura (Fm. Labra, Fm. Gramadal y Fm. Hualhuani).

2.1.3. Locales

Moreno, (2019). En su tesis profesional Facies sedimentarias de las Formaciones Carhuaz y Farrat en los sectores de San Cirilo, Callacpuma – Chilite. Describe que la Formación Farrat en el sector San Cirilo, presenta areniscas blanquecinas de grano medio a grueso con estratificación creciente y estratificación sesgada de canal, petrográficamente están compuestas de granos de cuarzo detrítico, pues este es el componente dominante. Finalmente concluye que las facies sedimentarias de esta Formación en San Cirilo, pertenecen a un ambiente sedimentario deltaico controlado por acción fluvial.

Prado, (2018). En su tesis profesional denominada Estudio petromineralógico de las areniscas de la Formación Farrat en la zona de Baños del Inca y Llacanora – Cajamarca. Clasifica a las areniscas de la Formación Farrat en el grupo de las sublitarenitas en la base y cuarzoarenitas en la parte media y techo de la secuencia. Además, afirma que las areniscas de dicha Formación, proceden de un ambiente tectónico conocido como cratón interior.

Cabanillas, (2017). En su tesis profesional denominada Estudio Petro - mineralógico para determinar ocurrencia de mineralización en la zona de Sapuc, distrito de la Asunción, Cajamarca. Determinó, a través de secciones delgadas, la existencia de ocurrencia de mineralización en sulfuros de hierro, cobre arsénico y plomo; identificando anfíboles y epidota en el contacto del intrusivo con la roca sedimentaria y en el depósito stockwork mineralización de pirita, calcopirita, pirrotita, melnicovita, arsenopirita, galena, goethita y jarosita.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Petrología

Rabadá, (2020) lo define como una rama de la geología, que estudia los tres principales tipos de rocas (ígneas, metamórficas y sedimentarias), en composición, textura, estructuras, ocurrencia, distribución y su origen, relacionados con condiciones físicas, químicas y procesos geológicos. Por su parte Hernández (2017) señala que, la petrología estudia el origen de las

rocas y su descripción, trata del modo de ocurrencia, composición, clasificación y de su génesis, así como de su historia y procesos geológicos.

2.2.2. Petrología Sedimentaria

La Petrología Sedimentaria está enfocada principalmente en el estudio de los aspectos mineralógicos, petrográficos, granulométricos, texturales y estructurales de sedimentos y rocas sedimentarias (Schwennicke y Plata, 2012), como también en el análisis de los procesos que conducen a su formación, tales como: alteración o hipergénesis, transporte, sedimentación y diagénesis (Alonso, 2013).

2.2.3. Petrografía

La Petrografía es un campo de la petrología que se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas, caracterizando su textura, microestructura y composición mineralógica (Frigerio, 2012), mediante técnicas como la observación microscópica de secciones o láminas delgadas derivadas de las rocas en estudio, en un microscopio petrográfico (Servicio Geológico Mexicano, 2017). Este tipo de análisis revela una serie de características y/o propiedades evaluables en los cristales y la relación que existen entre ellos, lo que va a ayudar a determinar la composición de la roca centrándose principalmente en la naturaleza y origen de la misma.

La petrografía sedimentaria, abarca la descripción de tipo composicional de las rocas sedimentarias (Ojeda y Sánchez, 2012), a través del análisis de las petrofacies definidas a partir de las modas detríticas de los granos del entramado (Muruaga, 2001), los cuales permiten establecer los ambientes de depósito, la procedencia de los sedimentos y los escenarios tectónicos para el tiempo y lugar en que surgen las unidades litológicas (Ojeda y Sánchez, 2012)

2.2.4. Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias son el producto de la acumulación de sedimentos, los cuales se consolidan a través de los procesos físico, químico y biológicos (Tucker, 2003). Están compuestas tanto por fragmentos que resultan de la meteorización y erosión de rocas más antiguas (Nichols, 2009), como por la precipitación química o bioquímica de sustancias disueltas en el agua (Franco y Gonzalo, 2000), y se clasifican según su origen en clásticas y no clásticas.

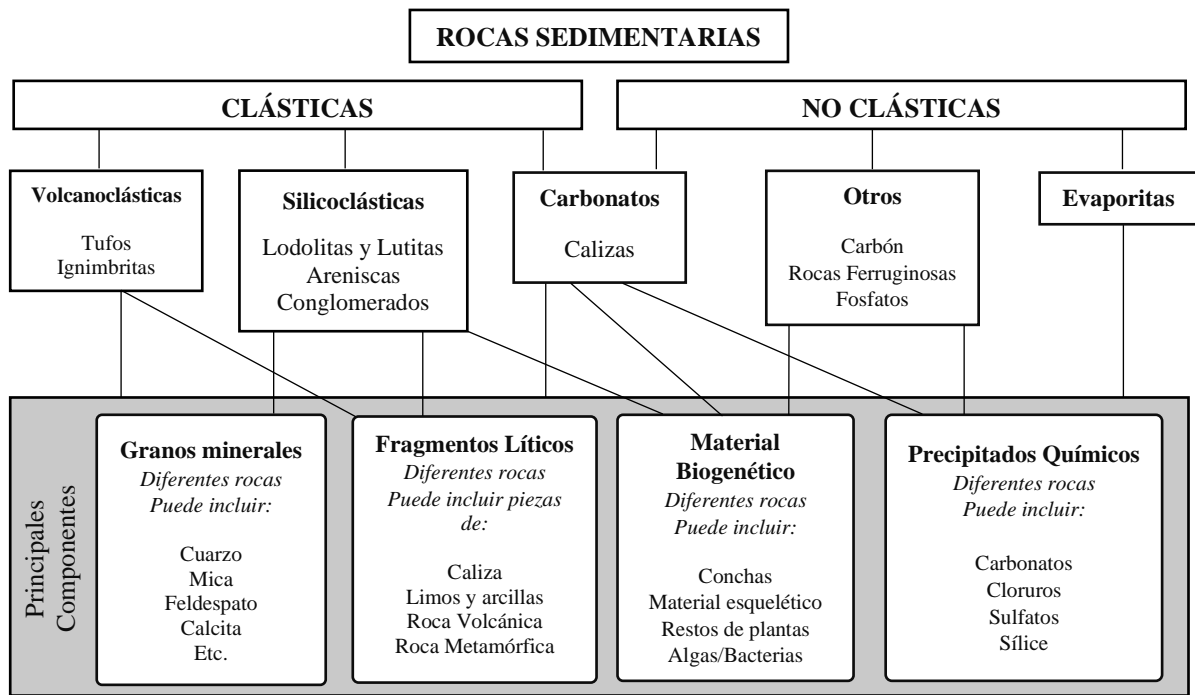


Figura 1. Esquema de clasificación para rocas sedimentarias según su origen (Nichols, 2009).

2.2.5. Rocas Sedimentarias Clásticas

Las rocas sedimentarias clásticas se caracterizan por que están constituidas por fragmentos rotos (clastos) de cristales o rocas preexistentes ígneas, metamórficas o sedimentarias, de tamaños variables, con formas más o menos redondeadas, que han sido transportados mecánicamente, y que pueden estar englobados por material mucho más fino que constituye la matriz. Si este material intersticial entre los clastos se forma por precipitación química de sustancias disueltas se denomina entonces cemento (Franco & Gonzalo, 2000).

2.2.5.1. Textura de las Rocas Sedimentarias Clásticas

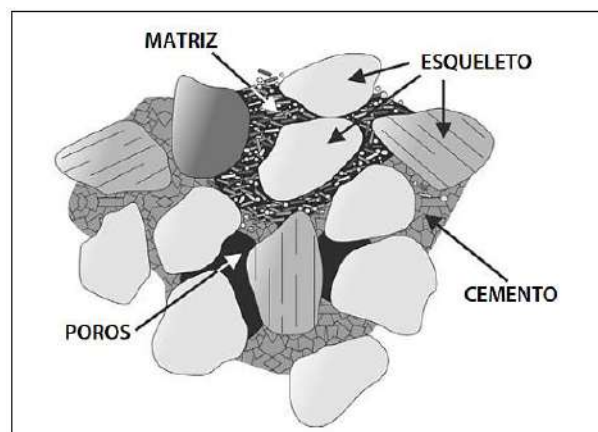


Figura 2. Esquema de estructuración de una roca detrítica (Arribas, 2010)

Hernández (2017), define la textura de rocas sedimentarias clásticas de manera general, y describe que la textura de éstas, está constituida por: los granos estructurales (esqueleto), la matriz o cemento y la porosidad. La Figura 2 esquematiza la relación entre estos componentes.

➤ Granos estructurales

Son los clastos o granos que se asocian a la parte rígida de una roca sedimentaria clástica de tal manera que forman el armazón, autores como Arribas, (2010), la denominan esqueleto. En función del tamaño de los clastos que conforman el esqueleto se diferencian tres grupos de depósitos clásticos consolidados (rocas): conglomerados (clastos mayores a 2 mm), areniscas (clastos de 2 a 1/16 de milímetro), y lutitas (clastos menores a 1/16 de milímetro); y sus correspondientes términos no consolidados (sedimentos): gravas, arenas, limos /arcillas respectivamente (véase Tabla 1) (Hernández U. , 2017).

Se llama clasto-soportado a los clastos que están en contacto y son el soporte de la roca. Si estos son pocos y casi no se tocan, está soportado por la matriz y se llama matriz-soportado (Boggs, 2009).

A continuación, se mencionan y describen los parámetros texturales necesarios para la observación del esqueleto de las rocas clásticas:

- Tamaño de grano

Las partículas silicoclásticas naturales varían en tamaño desde arcilla hasta cantos rodados y bloques. Debido a esta amplia gama de tamaños, las escalas de grados más útiles para expresar el tamaño de las partículas son las escalas logarítmicas o geométricas que tienen una relación fija entre los elementos sucesivos de la serie (Boggs, 2009). La escala de grado más utilizada por los sedimentólogos es la escala de Udden-Wentworth (Wentworth, 1922). Cada valor en esta escala es dos veces mayor que el valor anterior, según el sentido de la dirección mostrada en la Tabla 1.

La escala de Udden-Wentworth se extiende desde $< 1/256$ mm (0,0039 mm) a > 256 mm y se divide en cuatro categorías principales de tamaño (arcilla, limo, arena y grava). Algunas de estas categorías principales de tamaño se pueden subdividir aún más, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de rocas sedimentarias clásticas según la escala de tamaño de grano propuesta por Udden y Wentworth, (1922).

| <i>Diámetro Límite (mm)</i> | <i>phi</i> | <i>Denominación de la clase</i> | <i>Denominación de la roca según su granulometría</i> | |
|---------------------------------|------------|-------------------------------------|---|------------------|
| 256 | -8 | Bloques | <i>Conglomerados</i> | |
| 128 | -7 | | | |
| 64 | -6 | Cantos | | |
| 32 | -5 | | | |
| 16 | -4 | | | |
| 8 | -3 | Gujarros | | |
| 4 | -2 | | <i>Areniscas</i> | |
| 2 | -1 | Gránulos | | |
| 1 | 0 | Arena muy Gruesa | | |
| 0.5 | 1 | Arena Gruesa | | |
| 0.25 | 2 | Arena Media | | |
| 0.125 | 3 | Arena Fina | | |
| 0.0625 | 4 | Arena muy fina | <i>Arcillolitas</i> | |
| 0.0312 | 5 | Limo Grueso | | |
| 0.0156 | 6 | Limo Medio | | <i>Limolita</i> |
| 0.0078 | 7 | Limo Fino | | |
| 0.0039 | 8 | Limo muy fino | | |
| | | Arcilla | | <i>Arcillita</i> |

Fuente: Tomado y traducido de Nichols, (2009)

- Clasificación (selección o sorting)

Consiste en la distribución de tamaños de clastos presentes; para Nichols (2009), un sedimento bien clasificado está compuesto de clastos que caen principalmente en una clase en la escala de Wentworth (por ejemplo, arena media); un depósito mal clasificado contiene una amplia gama de diferentes tamaños de clastos.

Numéricamente hablando, Hernández (2017), lo define como la medida de la dispersión en el tamaño del sedimento, ya que, corresponde a la desviación estándar, es decir, cuando el tamaño del sedimento es muy variable, se dice que este se encuentra muy pobremente clasificado, por lo que tendrá una desviación estándar mayor, mientras que cuando el tamaño de los clastos es muy similar o parcialmente similar, se dice que el sedimento se encuentra muy bien clasificado, con una desviación estándar menor. Folk (1974), utilizó términos verbales de clasificación, según los valores de la desviación estándar que se muestran en la Tabla 2

Tabla 2. Clasificación según la desviación estándar

| Desviación estándar | Clasificación verbal |
|---------------------|--------------------------------|
| < 0,35 | Muy bien clasificado |
| 0,35 a 0,50 | Bien clasificado |
| 0,50 a 0,70 | Moderadamente bien clasificado |
| 0.70 a 1.00 | Moderadamente clasificado |
| 1.00 a 2.00 | Mal clasificado |
| 2.00 a 4.00 | Muy mal clasificado |
| > 4.00 | Extremadamente mal clasificado |

Fuente: Tomado y traducido de (Boggs, 2009), basado en (Folk R. L., 1974)

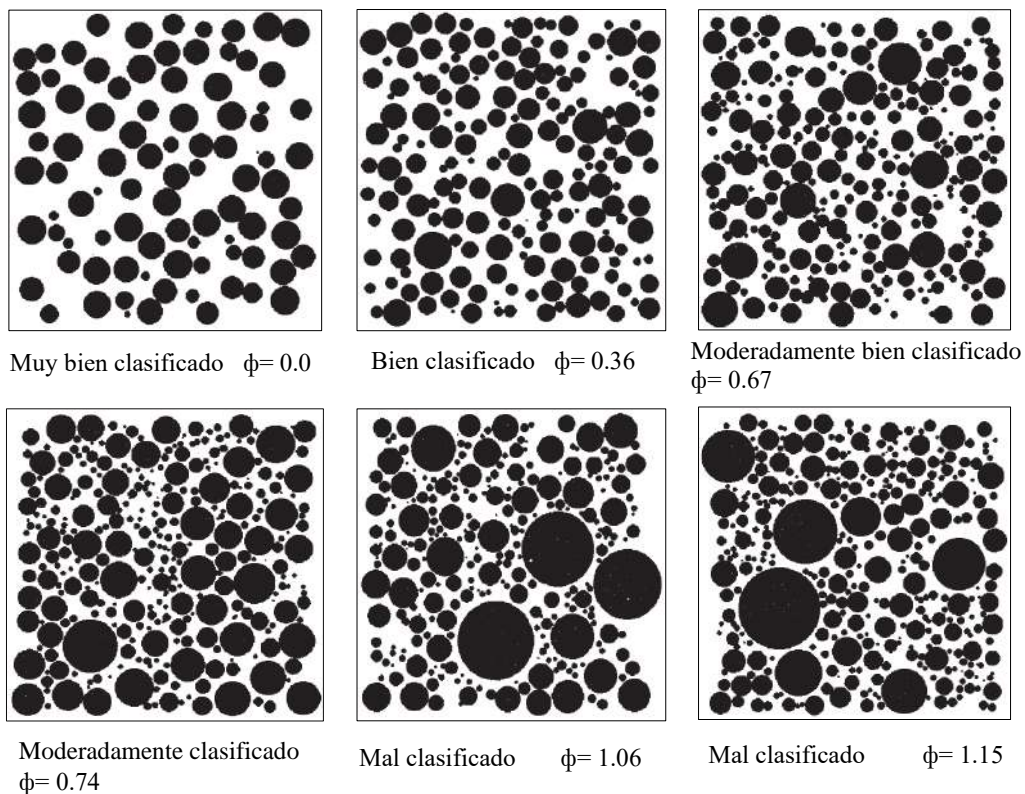


Figura 3. Comparación textural que muestra el grado de clasificación. Cada sección está etiquetada con su descripción de clasificación verbal según Folk (1968). Tomado y traducido de (Boggs, 2009).

En la figura 3, Boggs (2009), muestra un patrón para la estimación visual de la clasificación y sus términos descriptivos (clases). Los números en la parte inferior corresponden a valores de desviación estándar.

- Forma

La forma de un clasto puede definirse de acuerdo a las características geométricas o la relación que guardan entre si los diámetros de sus tres ejes principales, Largo (L), intermedio (I), y corto (S). En base a estos, Illenberger (1991), representó en un diagrama triangular, diez campos de clasificación de partículas. El diagrama presenta tres miembros extremos que limitan el sistema de variación dimensional: un esferoide alargado con un eje largo y dos cortos ($L > I = S$), denominado por Sneed y Folk (1958) clasto prolado, un esferoide achatado con dos ejes largos y uno corto ($L = I > S$), clasto oblado, y una esfera con todos los ejes iguales ($L = I = S$), clasto ecuante (Figura 4).

Las medidas de los ejes, se miden microscópicamente, posterior a ello, se calcula tanto, el índice de forma como el índice disco – varilla con las fórmulas expresadas en la figura 4.a., posteriormente, estos valores se intersectan en el diagrama, para finalmente determinar el campo en el que se encuentra dicho clasto. La figura 4.b., representa el mismo diagrama triangular, este expresa los tres miembros extremos que limitan el sistema de variación dimensional: esférica, plana y alargada.

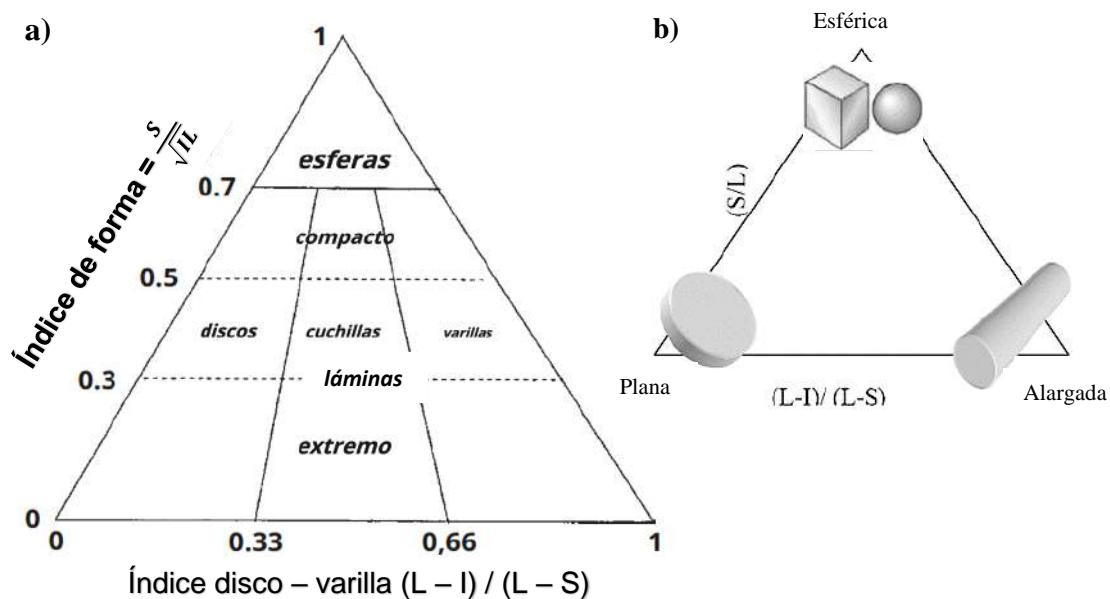


Figura 4. Las cuatro clases de la forma del grano: esferas, discos, varillas y láminas, basadas en el índice de la forma y el índice disco - Varilla. L, I y S representan respectivamente los ejes largo, intermedio y corto de los granos. Tomado y traducido de (Tucker, 2003), basado en (Illenberger, 1991)

- Esfericidad

La esfericidad representa el grado en que la forma de los granos se acerca a la forma de una esfera (Wadell, 1936). La determinación práctica de la esfericidad implica la medición de los tres ejes ortogonales de las partículas descritos en el apartado anterior (forma) y el cálculo de un valor de esfericidad basado en las longitudes relativas de estos ejes. Se supone que cuanto más iguales sean las longitudes de los tres ejes, más se acercará la partícula a la forma de una esfera (Boggs, 2009). Cuando es una esfera perfecta la esfericidad es 1.0, y cualquier otra forma tendrá un valor de esfericidad menor a este (Hernández U. , 2017).

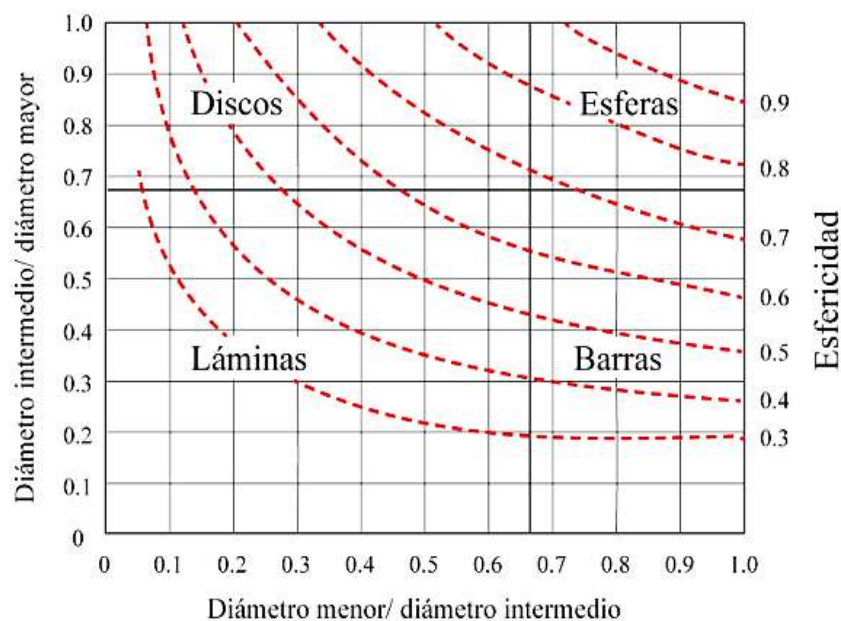


Figura 5. Esfericidad expresada en valores de 0.3 a 0.9 asociado con la forma de los clastos. Modificado por (Hernández U. , 2017) de Pettijohn, 1975.

- Redondez

La redondez está definida por Hernández (2017), como el grado de desgaste que presentan las aristas y esquinas de un clasto, está en función de la historia de transporte, cuando los bordes de los clastos se desgastan al golpear unos contra otros, o contra el lecho de transporte, por el cual es arrastrado por agentes geológicos externos.

La medición de la redondez de una partícula, puede realizarse directamente sobre la partícula o por comparación con cartas de estimación visual que presentan granos que varían desde muy anguloso hasta bien redondeado. La Figura 6 y el Anexo I - B, muestra la relación entre estos atributos (Powers, 1953)

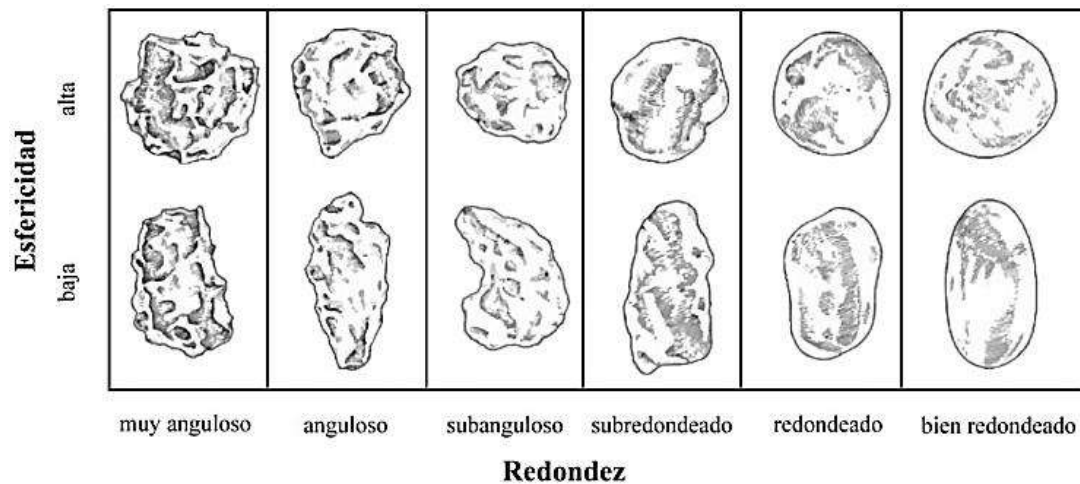


Figura 6. Carta de comparación visual para redondez y esfericidad de Powers, 1953. Tomado de (Hernández U. , 2017).

- Texturas superficiales

Son aquellos rasgos menores de la superficie de un grano que son independientes del tamaño, forma y redondez, tales como estrías, marcas de percusión, lustre, etc. Es útil determinar este tipo de texturas ya que algunas de ellas están relacionadas a su origen. Por otro lado, estas marcas superficiales se borran o se marcan con poca abrasión o poco transporte, por lo que registran más fácilmente la última etapa de transporte antes del depósito (Hernández U. , 2017).

Las texturas superficiales se agrupan en dos categorías, una relacionada con la opacidad y el lustre de la superficie del fragmento y la otra con marcas en la superficie de este.

- Empaquetamiento

Bates y Jackson (1980), se refieren al empaquetamiento como la forma en la que se disponen o el espaciamiento que existe entre las partículas sólidas en una roca sedimentaria; específicamente, la disposición de los granos estructurales, exepctuando a cualquier grano autígeno que haya cristalizado entre ellos.

Según Graton y Fraser (1935), existen dos tipos extremos de empaque: cúbico (abierto) y romboedral (cerrado), en la Figura 7 se observan ambos tipos de empaque. Esta característica tiene influencia directa en la porosidad ya que, de acuerdo al tipo de arreglo, el espacio entre granos será mayor para el cúbico o menor para el romboedral.

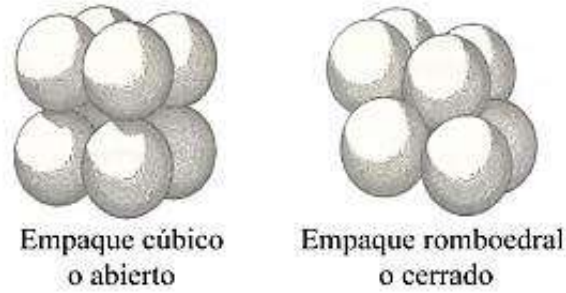


Figura 7. Tipos de empaque representado por partículas esféricas de igual tamaño, según Graton y Fraser (1935). Modificado de Pettijohn, (1975).

Así mismo, y con base en el espaciamiento que exista entre los granos y la cantidad de matriz en el sedimento, los contactos pueden ser flotantes, puntuales, tangenciales, longitudinales, cóncavo-convexos o suturados (Hernández U. , 2017).

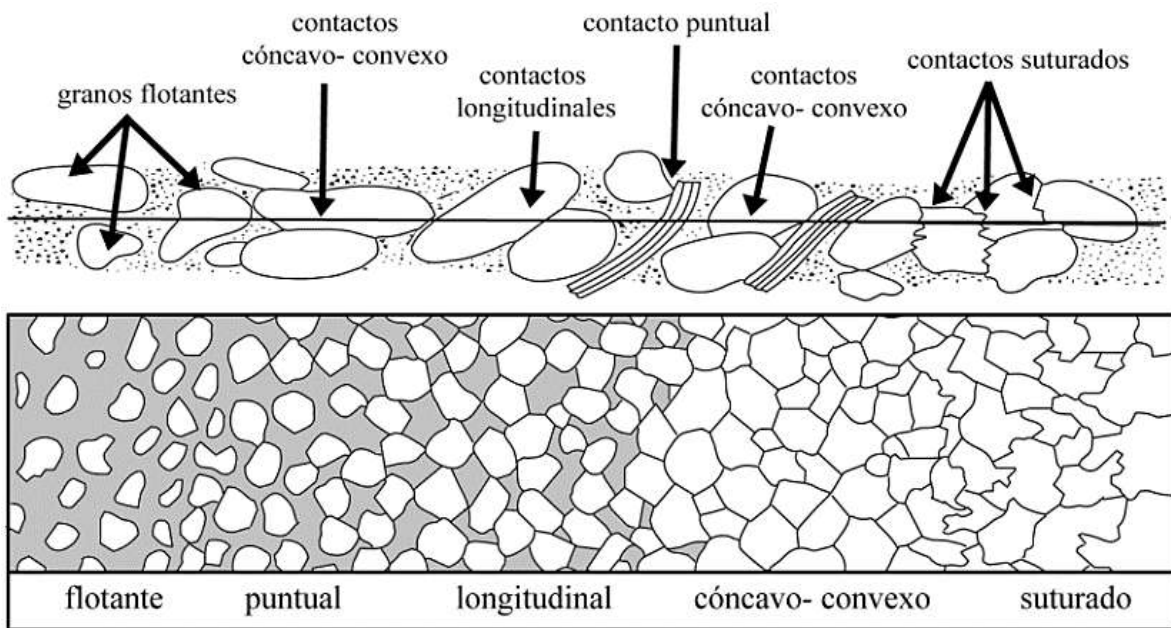


Figura 8. Ilustración esquemática de los principales tipos de contactos de grano: Flotante, puntual, longitudinal, cóncavo-convexo y suturado. Modificado por (Hernández U. , 2017) de Castro 1989 y Pettijohn et al., 1987.

- Orientación

Las partículas planas, escamosas o alargadas en las rocas sedimentarias suelen mostrar cierto grado de orientación que refleja la naturaleza del proceso de depósito. Por ejemplo, las pequeñas partículas laminares o escamosas que se depositan en suspensión en un lecho plano en ausencia de flujo de corriente se depositan comúnmente con sus dimensiones aplanadas

paralelas a las superficies del lecho (Figura 9.A). Los granos alargados pequeños que se asientan en las mismas condiciones también tienden a tener sus dimensiones largas orientadas aproximadamente paralelas a la superficie del lecho; sin embargo, los granos pueden tener cualquier orientación (disposición aleatoria) dentro del plano de lecho (Figura 9.B) (Boggs, 2009).

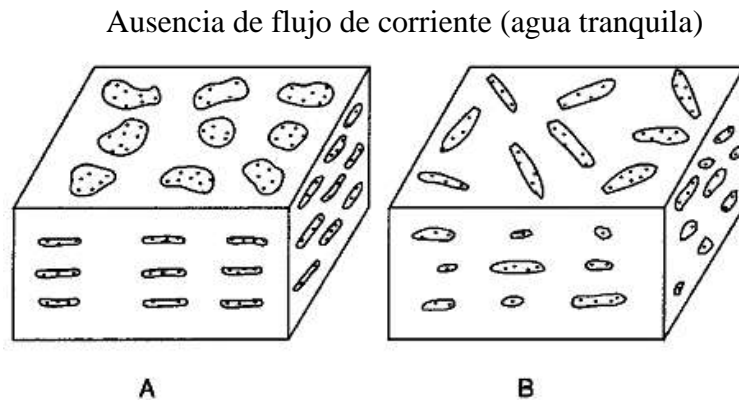


Figura 9. A. Granos laminares o escamosos depositados en agua tranquila sobre un lecho plano. B. Granos alargados depositados en disposición aleatoria en aguas tranquilas. Tomado de (Boggs, 2009).

Las partículas pequeñas o grandes transportadas y depositadas por corrientes de tracción o por flujos de gravedad de sedimentos generalmente muestran una orientación que refleja la dirección del flujo de la corriente de depósito. Por lo tanto, las partículas pueden estar orientadas con dimensiones largas o aplanadas paralelas al lecho, pero tienen orientaciones dentro del plano del lecho que son paralelas al flujo de corriente (Figura 10) o perpendicular al flujo de corriente (Boggs, 2009).

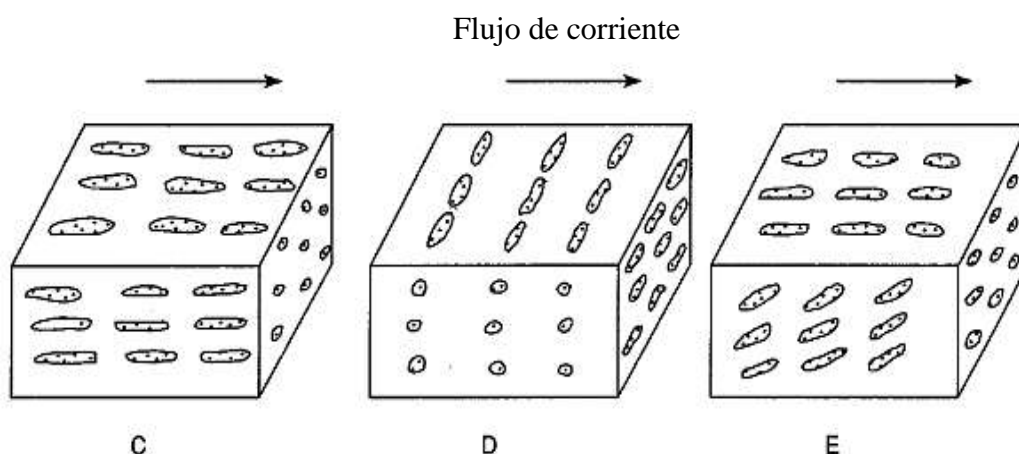


Figura 10. Disposición hipotética y esquemática de granos en sedimentos. C. Granos alargados depositados bajo el flujo de corriente con dimensiones largas paralelas al flujo de corriente. D. Granos alargados depositados bajo el flujo de corriente con dimensiones largas perpendiculares al flujo de corriente. E. Granos alargados depositados en un arreglo imbricado bajo el flujo de corriente. Tomado de (Boggs, 2009).

- Madurez mineralógica y textural

La madurez mineralógica es el grado de estabilidad de los componentes minerales que se encuentran en las rocas sedimentarias clásticas. Una roca mineralógicamente supermadura es aquella que contiene un gran porcentaje de minerales o fragmentos de roca estables químicamente y/o resistentes a la abrasión o disolución (cuarzo, zircón, turmalina, pedernal, cuarcita, etc.), mientras que una roca mineralógicamente inmadura es aquella que contiene gran porcentaje de minerales o fragmentos de rocas inestables químicamente y/o frágiles o poco resistentes a la abrasión o disolución (feldespatos, calcita, anfíboles, piroxenos, fragmentos de rocas carbonatadas, lutitas) (Hernández U. , 2017).

La madurez textural, representa el grado de desarrollo que han alcanzado los procesos de transporte y sedimentación. Se dice que una roca sedimentaria es más madura cuanto más redondeados y seleccionados estén los clastos que la integran. La madurez textural es un índice que refleja el tiempo transcurrido entre la erosión del material original y su depositación final.

Tabla 3. Términos de madurez mineralógica y su composición común

| Término de madurez | Composición común |
|--------------------|--|
| Inmaduro | Abundan las plagioclasas y el cuarzo, dependiendo de la fuente de sedimento se pueden encontrar micas, anfíboles, algunos piroxenos, olivino o andalusita; son comunes los fragmentos de roca de esquistos, filitas y pizarras, así como fragmentos volcánicos e ígneos de composición básica. |
| Submaduro | Predominan los feldespatos potásicos (ortoclasa-microclina) puede presentar clorita, epidota, piroxenos, cianita, estaurolita, sillimanita y glauconita; se preservan líticos volcánicos de composición intermedia. |
| Maduro | Contiene cuarzo policristalino en abundancia, se pueden encontrar micas y granates. Los fragmentos volcánicos si los hay, suelen ser de composición ácida. |
| Supermaduro | Contiene cuarzo monocristalino y minerales pesados como zircón, rutilo y turmalina. También pueden encontrarse fragmentos de cuarcita o pedernal. |

Fuente: (Hernández U. , 2017)

➤ Matriz

Es el resultado que se origina de dos formas, la primera, al sedimentarse paralelamente a los clastos estructurales, y la segunda, a partir de la infiltración postdeposicional de arcilla en los espacios intersticiales, particularmente en depósitos fluviales, o como un relleno autógeno debido a la alteración diagenética de fragmentos de roca inestables, feldespatos y minerales

ferromagnesianos, se encuentra entre los granos estructurales y da cohesión al sedimento (Boggs, 2009).

➤ **Cemento**

El cemento es el resultado de procesos de precipitación a partir de soluciones acuosas iónicas o coloidales que circulan e interaccionan con las rocas, éste se genera en su mayoría durante la diagénesis de los clastos.

El porcentaje de cemento puede ser variable y su existencia en las rocas clásticas es uno de los factores que producen una reducción en la porosidad. Los cementantes más abundantes son calcáreos, silíceos o ferruginosos, tal como se muestra en la Tabla 4 (Alonso, 2013).

Tabla 4. Principales cementantes en rocas sedimentarias

| Composición del Cemento | |
|--------------------------------|--|
| Silicatos | Principalmente cuarzo, calcedonia, ópalo, feldespato, zeolitas |
| Carbonatos | Principalmente calcita, también aragonita, dolomita, siderita |
| Óxido de hierro | Hematita, limonita, goethita |
| Sulfatos | Anhidrita, yeso, barita, celestita |

Fuente: (Hernández U. , 2017)

➤ **Porosidad**

Boggs (2009), la define como la relación entre el espacio poroso en un sedimento o roca sedimentaria y el volumen total de la roca, está controlada en parte por los atributos texturales del tamaño, la forma, el empaquetamiento y la disposición de los granos.

Por su génesis, la porosidad se divide en primaria (deposicional) y secundaria (posdeposicional). La porosidad primaria puede ser de tres tipos: (1) intergranular, espacio poroso que existe entre los granos de la estructura, como partículas siliciclásticas y granos de carbonato (ooides, fósiles, etc.), (2) intragranular o intrapartícula – espacio poroso dentro de las partículas, como cavidades en fósiles y espacio abierto en minerales arcillosos, y (3) intercrystalino espacio poroso entre cristales formados químicamente, como en las dolomías. La porosidad secundaria puede incluir (1) porosidad de la solución causados por disolución de

cementos o granos estructurales metaestables (feldespatos, fragmentos de roca) en rocas sedimentarias siliciclásticas o disolución de cementos, fósiles, cristales estructurales, etc (Boggs, 2009).

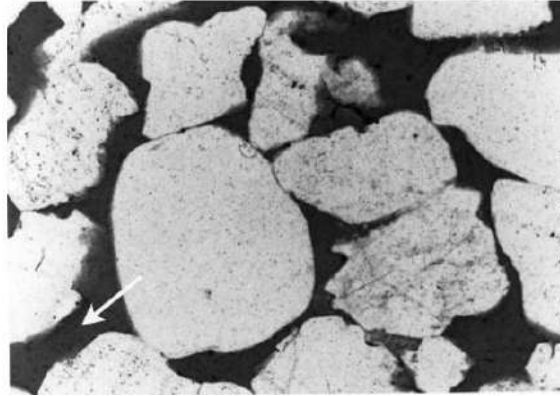


Figura 11. Arenisca rica en cuarzo impregnada con resina epoxi (azul) (flecha blanca, parte inferior izquierda) para revelar la porosidad (Boggs, 2009).

En la naturaleza, estos espacios son susceptibles de ser ocupados por fluidos como gas, vapor, petróleo o agua, por lo que es importante determinar el volumen de poros. Asociado a este término se encuentra la Permeabilidad que es la capacidad que tiene una roca de permitir el paso de fluidos a través de ella sin alterar su estructura interna (Hernández U. , 2017).

➤ Estructuras sedimentarias

Son todos aquellos rasgos mayores que, de manera general, se observan o estudian mejor en el afloramiento que en muestras de mano o lámina delgada. Éstas se forman durante el proceso o después del depósito. Su estudio es importante ya que proveen información que resulta significativa en la reconstrucción de los procesos y ambientes de depósito de la roca (Hernández U. , 2017).

Las estructuras sedimentarias de acuerdo a su origen se clasifican en tres tipos: mecánicas (primarias), químicas (diagenéticas o secundarias) y orgánicas (biogénicas). Las estructuras mecánicas o primarias dependen principalmente de la velocidad de la corriente y la tasa de sedimentación. Las estructuras diagenéticas o secundarias son producto de la acción química contemporánea con la sedimentación y las estructuras biogénicas son consecuencia directa o indirecta de la acción orgánica (Hernández U. , 2017).

Tabla 5. Clasificación de las estructuras sedimentarias.

| Estructuras mecánicas | Estructuras diagenéticas | Estructuras biogénicas |
|---|--|---|
| A) Basadas en la geometría 1. Laminaciones 2. Estratificación | A) Estructuras de disolución 1. Estilolitas 2. Zonas de corrosión 3. Vacuolas y cavidades | A) Petrificaciones |
| B) Como parte interna de la estratificación 1. Estratificación cruzada 2. Estratificación gradada | B) Estructuras acrecionales 1. Nódulos 2. Concreciones 3. Agregados cristalinos (esferulitas, rosetas) 4. Vetillas 5. Bandeamiento de color | B) Estromatolitos 1. Oncolitos 2. Thombolitos 3. Cortezas de algas |
| C) Generadas en la base del plano de estratificación 1. Calcos de carga 2. Grietas de desecación 3. Marcas de corriente 4. Marcas de golpeteo 5. Calcos de surcos | C) Estructuras compuestas 1. Geodas 2. Septarias 3. Cono en cono | C) Icnofósiles 1. Marcas de reposo 2. Huellas de arrastre 3. Estructuras de residencia 4. Estructuras de alimentación 5. Huellas de apacentamiento |
| D) Formadas en la superficie del plano de estratificación 1. Rizaduras simétricas 2. Rizaduras asimétricas 3. Lineación primaria 4. Surcos y anillos 5. Huellas de lluvia 6. Impresiones y hoyuelos | | |
| E) Estratificación deformada 1. Estructuras de bolas y almohadas 2. Pliegues sinsedimentarios 3. Diques sedimentarios 4. Estructuras de carga | | |

Fuente: Modificado por (Hernández U. , 2017), de Pettijohn, 1975.

2.2.6. Areniscas

Las areniscas son rocas sedimentarias clásticas que se componen de un conjunto muy restringido de minerales detríticos importantes, fragmentos de roca, y una variedad de minerales que pueden estar presentes en cantidades accesorias, los cuales presentan un tamaño de grano que se extiende desde $< 1/16$ mm (0,0625 mm) a > 2 mm (Boggs, 2009); estos componentes

están unidos por una matriz la cual consiste de minerales de arcilla y limo, y en la mayoría de los casos estos materiales de grano fino se depositan con los granos estructurales (Tucker, 2003).

Según Boggs, (2009) los constituyentes detríticos que definen a las areniscas son aquellos derivados de la desintegración mecánico-química de una roca madre, y que en su gran mayoría son partículas silicoclásticas terrígenas que se generan a través del proceso de meteorización, erosión, vulcanismo y transporte de sedimentos desde las rocas madre ubicadas fuera de la cuenca de depósito. Para Tucker, (2003) estos constituyentes son: fragmentos de roca, granos de cuarzo, feldspatos, micas y minerales arcillosos, minerales pesados, matriz y cemento.

Unos pocos constituyentes detríticos en las areniscas pueden ser partículas no silicoclásticas, como fragmentos de esqueleto o clastos de carbonato, formados dentro de la cuenca de depósito por disrupción mecánica de masas de arrecifes u otros cuerpos de carbonato consolidados o semiconsolidados. Las areniscas también pueden contener restos biogénicos intracuencales que se acumularon en el sitio de depósito, a medida que morían los organismos, junto con sedimentos detríticos (Boggs, 2009).

2.2.6.1. Componentes detríticos de las areniscas

➤ Fragmentos de roca

Los fragmentos de roca son partículas detríticas formadas por dos o más granos minerales (Boggs, 2009), la integración de estos en las areniscas depende de la geología del área fuente y de la durabilidad de los granos durante el transporte (Schwennicke y Plata, 2012). Pueden ser intraformacionales o intracuencales (formados dentro del área de sedimentación y corresponden a fragmentos de barro arcilloso o carbonático); así como extraformacionales o extracuencales (proceden de fuera del área de sedimentación y pueden ser casi de cualquier tipo) (Alonzo, 2010).

Dependiendo de la composición de la roca fuente, casi cualquier tipo de fragmento de roca puede estar presente en una arenisca; sin embargo, según (Boggs, 2009), los clastos de rocas madre finamente cristalinas o de grano fino son generalmente los más abundantes.

- Los fragmentos de roca ígnea más comunes son fragmentos de roca volcánica y vidrio.

- Los clastos metamórficos incluyen esquisto, filita, pizarra y cuarcita.
- Los fragmentos de roca sedimentaria comunes son la arenisca, la limolita y el chert.
- Los clastos de roca caliza y roca plutónica y metamórfica gruesa son menos comunes.

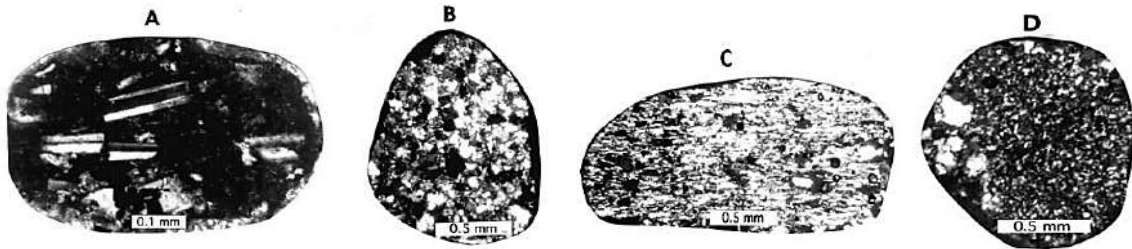


Figura 12. Ejemplos de varios tipos de fragmentos de rocas detríticas comunes.

A. Clasto volcánico con fenocristales de plagioclasa en arenisca de aguas profundas del Mioceno, Mar de Japón, 387 m por debajo del lecho marino. B. Clasto de arenisca, arena de la plataforma de Taiwán. C. Clasto metamórfico, arena de la plataforma de Taiwán. D. Clasto Chert, arena de la plataforma de Taiwán. Fuente: Extraído y traducido de (Boggs, 2009)

➤ Cuarzo

El cuarzo es el mineral más común en las areniscas y el más estable de todos los minerales bajo condiciones sedimentarias, esto debido a su gran dureza, tenacidad y estructura química, siendo considerado un mineral muy estable y difícil de destruir meteóricamente (Folk, 1980). Comúnmente constituye alrededor de dos tercios de la arenisca promedio (Blatt, 1982), aunque su abundancia modal real puede oscilar entre menos del 5 por ciento (raro) y más del 95 por ciento (Boggs, 2009). Muchos granos de cuarzo en areniscas del Mesozoico y del Cenozoico están en su segundo o tercer ciclo de sedimentación. La mayoría de granos de cuarzo se derivan de rocas granitoides plutónicas y gneises ácidos (Tucker, 2003).

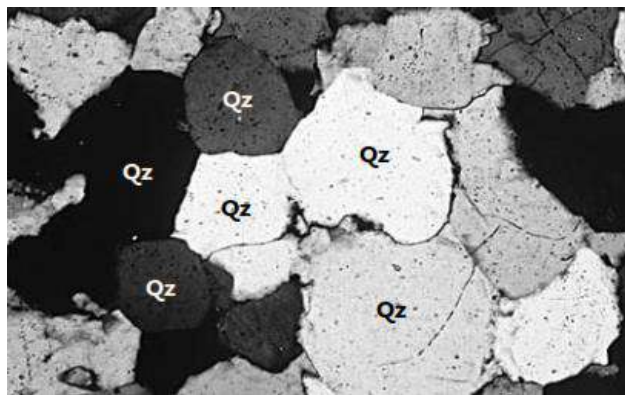


Figura 13. Microfotografía de una arenisca: los granos son todos de cuarzo, sin embargo, aparecen diferentes tonos de gris bajo los polos cruzados debido a las diferentes orientaciones de los granos. Tomado y traducido de Nichols, (2009)

Tipos de granos cuarzo

Basu et al. (1975), distingue cuatro tipologías de granos de cuarzo en función del carácter de la extinción y de la policristalinidad:

- Cuarzo monocristalino con extinción recta (Q_{mr}): Granos de cuarzo constituidos por un único cristal, o con presencia de otra fase mineral en porcentaje inferior al 10% del total del grano, cuya extinción completa se consigue con un giro de la platina inferior o igual a 5°.
- Cuarzo monocristalino con extinción ondulante (Q_{mo}): Constituido por un único cristal, se distingue del Q_{mr} en que para conseguir la extinción completa de la superficie del grano es necesario un giro de la platina superior a 5°.
- Cuarzo policristalino con 2 o 3 unidades cristalinas (Q_{p2-3}): Granos de cuarzo constituidos por 2 o 3 unidades cristalinas con distinta orientación óptica.
- Cuarzo policristalino con más de 3 unidades cristalinas (Q_{p>3}): Presenta un número superior de unidades cristalinas por grano que el (Q_{p2-3}).

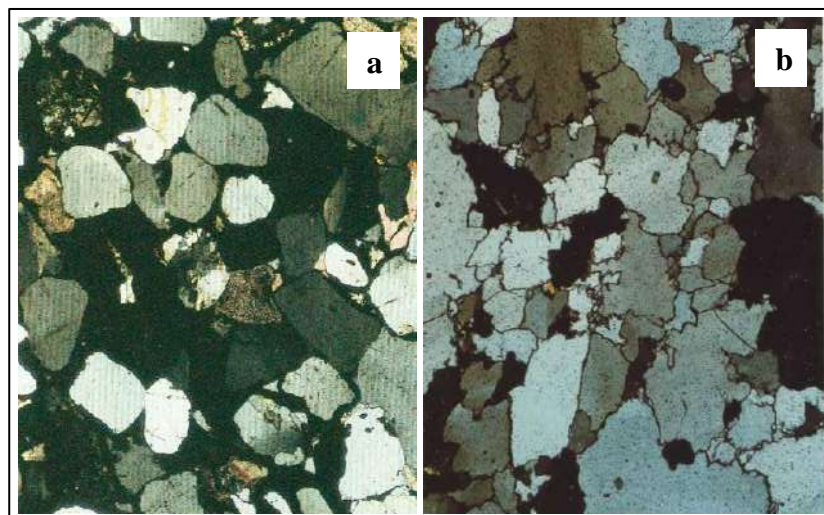


Figura 14. a) Granos de cuarzo monocristalinos y morfología subredondeada; b) Cuarzo policristalino
Fuente: Adams et al. (1997)

Procedencia de los distintos tipos de cuarzo

Para determinar la procedencia de este mineral según la clasificación de (Krynine, 1946) es necesario observar las siguientes características físicas y ópticas.

- Extinción

- Inclusiones
- Forma

Dependiendo del tipo de extinción, inclusiones y forma del cuarzo se puede determinar si el ambiente de formación es plutónico, volcánico, metamórfico (recristalización, esquistos o deformado) o hidrotermal (Hernández U. , 2017).

Hernández (2017), basado en Krynine (1946), muestra en la tabla 6, las características antes mencionadas (extinción, inclusiones y forma) de los distintos tipos de cuarzo y la procedencia asociada a éstas.

Tabla 6. Características de los distintos tipos de cuarzo y su procedencia.

| Tipo de cuarzo | Extinción | Inclusiones | Forma | Observaciones |
|------------------------------|----------------------------------|---|---|---|
| Ígneo | Recta o ligeramente ondulante | Algunas vacuolas y a veces algunos microlitos | Casi equidimensional | - |
| | Recta | Casi sin inclusiones | Hexagonal bipiramidal, aristas rectas y esquinas redondeadas. | Puede presentar cristales negativos |
| Metamórfico | Recta o ligeramente ondulante | Inclusiones de micas | Granos alargados, compuestos con bordes rectos | - |
| | Recta o ligeramente ondulante | Algunos microlitos o vacuolas | Mosaico de granos equidimensionales | - |
| | Fuertemente ondulante | Algunos microlitos y vacuolas | Unidades cristalinas alargadas, lenticulares | Los bordes pueden ser rectos o saturados |
| Lechoso o hidrotermal | Semicompuesta, recta u ondulante | Abundantes vacuolas | Granos grandes | Estructuras en forma de peine a veces con clorita |

Fuente: Modificado por Hernández, (2017) de Krynine, (1946).

Los cuarzos derivados de rocas volcánicas suelen ser monocristalinos, tener extinción recta y no presentar inclusiones. Los cuarzos en venas hidrotermales son mono o policristalinos gruesos y suelen presentar vacuolas rellenas de fluidos. Los cuarzos policristalinos metamórficos tienen cristales generalmente alargados con orientación preferente. La extinción ondulante es característica tanto de cuarzos metamórficos como plutónicos. Los más estables son los monocristalinos con extinción recta (Alonzo, 2010).

➤ Feldespatos

El contenido en feldespato de las areniscas varía entre 10 y 15%, pero en las arcosas normalmente alcanza el 50%. Su estabilidad mecánica es más baja que la del cuarzo, pues los feldespatos son más blandos y tienen un clivaje más fuerte, lo que conlleva a la desintegración de cristales de feldespato durante el transporte. La estabilidad química de estos, también es más baja debido a la facilidad con la que ellos son hidrolizados, pues la alteración química conlleva frecuentemente al reemplazamiento por minerales de la arcilla tales como la sericita (una variedad de moscovita), caolinita e illita. El reemplazamiento diagenético del feldespato por calcita también es común, ya que estos también están sujetos a disolución, por lo que la pérdida parcial a total del feldespato puede tener lugar durante la diagénesis. (Tucker, 2003).

Boggs, (2009) divide los feldespatos en dos grupos principales: feldespatos potásico-alcalinos (ortoclasa, microclina/ sanidina anortoclasa) y feldespatos de plagioclasa (FP). Ambos grupos están bien representados en los sedimentos detríticos. En general, este autor considera que los feldespatos de potasio (ortoclasa y microclina) son más abundantes que los feldespatos de plagioclasa en la arenisca promedio; sin embargo, las areniscas derivadas de áreas de origen ricas en rocas volcánicas pueden contener más plagioclasa que el feldespato de potasio, es aquí donde la plagioclasa sódica tiende a ser más abundante en las areniscas que la plagioclasa cálcica.

➤ Micas y minerales arcillosos

Debido a la facilidad con la que las micas se separan en láminas, no es común encontrar micas clásticas en rocas sedimentarias maduras. Por lo que al encontrarlas en un sedimento se puede interpretar que éste no ha sufrido mucho transporte. Si los cristales de mica se encuentran redondeados son indicadores de corrientes suaves con movimientos de vaivén (Krynine, 1940).



Figura 15. Arenisca cuarzosa, en la que se puede observar una lámina de mica en el centro de la fotografía rodeada de cristales pequeños de relieve débil. Adams et al. (1997)

Schwennicke y Plata (2012), de las micas que se encuentran en areniscas, existen dos tipos que predominan en ellas: La mica blanca, moscovita; y la mica marrón, biotita; ambas presentan una estructura cristalina de láminas delgadas y tienen una hendidura laminar muy bien desarrollada que hace que los cristales se rompan en granos muy delgados (Nichols, 2009).

Los minerales arcillosos son comunes en las areniscas como constituyentes de la matriz (Boggs, 2009). Tucker (2003) diferencia dos grupos, detríticos y autógenos. Los primeros, no pueden ser identificados con el microscopio petrográfico, por lo que requiere métodos de difracción de rayos X, mientras que algunos de los autógenos, si pueden ser identificados. Las arcillas detríticas, reflejan la geología del área fuente, clima y procesos de meteorización.

Poco después de la deposición (antes de la diagénesis), las arcillas pueden infiltrar mecánicamente una arenisca. Durante la diagénesis, los minerales de la arcilla pueden ser alterados a otras arcillas, o pueden formarse a expensas de otros granos, en particular, los feldespatos que normalmente son reemplazados por caolinita (Tucker, 2003).

En cuanto a su procedencia, las micas, derivan de rocas ígneas, pero sobre todo de las pizarras metamórficas y filitas. Aunque la biotita es más común en las rocas fuente que la moscovita, esta última es químicamente más estable y por eso es más común en rocas sedimentarias (Tucker, 2003). En la Tabla 7 se menciona la procedencia y estabilidad de las micas más comunes en areniscas.

Tabla 7. Procedencia y estabilidad de las micas más comunes en sedimentos

| Mineral | Procedencia | Estabilidad |
|----------------|--|--|
| Biotita | Rocas ígneas ácidas a máficas, rocas volcánicas y rocas metamórficas | Inestable |
| Moscovita | Rocas metamórficas y rocas ígneas ácidas | Estable, excepto en climas muy cálidos y húmedos |
| Clorita | Hidrotermal o metamórfico. Mineral de alteración | Inestable |
| Sericita | Mineral de alteración | Inestable |

Fuente: Hernández, (2017)

➤ **Minerales pesados**

La mayoría de las areniscas contienen pequeñas cantidades de minerales accesorios con granos que no superan los 2 mm. La mayoría de estos minerales tienen gravedades

específicas que superan los 2.85 y, por lo tanto, se denominan minerales pesados (Boggs, 2009). Los minerales pesados son componentes accesorios que aparecen en proporciones menores del 1% en areniscas y suelen ser silicatos y óxidos resistentes a la meteorización química y abrasión mecánica (Alonzo, 2010).

Boggs (2009), divide los minerales pesados en dos grupos según sus propiedades ópticas: opacos y no opacos. Los minerales pesados opacos, incluyen magnetita, ilmenita, hematita y limonita, pirita y leucoxeno. Los minerales pesados no opacos, abarcan un grupo muy grande de más de 100 minerales, de los cuales olivino, clinopiroxenos, ortopiroxenos, anfíboles, granate, epidota, clinozoisita, zoisita, cianita, sillimanita, andalucita, estaurolita, apatita, monacita, rutilo, esfena (titanita), turmalina, y el zircón son particularmente comunes.

El estudio de los minerales pesados puede dar información útil sobre la procedencia y eventos en el área fuente. Ciertos minerales pesados, como granate, epidota y estaurolita, se derivan de terrenos metamórficos, mientras que Otros; rutilo, apatito y turmalina, por ejemplo, indican rocas fuente ígneas (Tucker, 2003).

Procedencia de los minerales pesados

A pesar de su poca abundancia en las areniscas (menos del 1 %) (Alonzo, 2010), el estudio de estos minerales es de gran importancia para determinar la procedencia, transporte y meteorización del sedimento en una correlación y estudios paleogeográficos (Hernández U. , 2017).

De acuerdo con Pettijohn, (1975) el contenido de minerales pesados en el sedimento está en función de la litología de la fuente de aporte, la estabilidad mineral, la durabilidad y la resistencia a la abrasión. En la Tabla 8, se muestra la procedencia de los minerales pesados comunes en los sedimentos de acuerdo con Pettijohn et al., 1987.

Tabla 8. Procedencia de los minerales pesados comunes en las rocas sedimentarias.

| Procedencia | Minerales pesados comunes |
|---------------------|---|
| Rocas ígneas ácidas | Apatita, brookita, hornblenda, monacita, rutilo, titanita, turmalina (variedad rosa), zircón; muscovita, biotita. |
| Pegmatitas | Casiterita, dumortierita, fluorita, granate, monacita, topacio, turmalina (variedad azul), wolframita, xenotima; muscovita. |

| Procedencia | Minerales pesados comunes |
|--------------------------------|--|
| Rocas ígneas básicas | Augita, cromita, diópsida, hiperstena, ilmenita, magnetita, olivino, espinela; granate variedad piropo en rocas ultrabásicas. |
| Rocas metamórficas de contacto | Andalucita, condrodita, corindón, granate, flogopita, estauroлита, topacio, vesuvianita, wollastonita, zoisita. |
| Rocas metamórficas regionales | Andalucita, biotita, condrodita, epidota, granate, glaucofano, cianita, muscovita, sillimanita, estauroлита, titanita, zoisita-clinozoisita. |
| Sedimentos retrabajados | Barita, menas de hierro, leucoxeno, rutilo, turmalina (como granos redondeados), zircón (como granos redondeados). |

Fuente: Pettijohn et al., 1987. Modificado de Ulmen-Scholle et al., 2014

➤ Otros componentes detríticos

Además de los componentes en los apartados anteriores, existen también granos de carbonatos y fosfatos en areniscas. Los primeros son principalmente fósiles o fragmentos de ellos, y granos no esqueléticos como ooides, peloides e intraclastos. Se dan granos detríticos de caliza y dolomía, a menos que haya un abundante, son un componente mucho menor. La importancia de los fósiles en una arenisca está vinculada con la información estratigráfica y la medioambiental que ellos puedan dar. Los segundos (fosfatos), provienen principalmente de esqueletos (fragmentos de hueso), glauconita y bertierina – chamosita. Hay generalmente en las areniscas poca materia orgánica diseminada, aunque los fragmentos de plantas ocurren en muchas areniscas (Tucker, 2003).

2.2.6.2. Clasificación de areniscas

En la clasificación de (Pettijohn et al. 1987), existen tres diagramas triangulares (ver Figura 16), los cuales, han sido elaborados tomando en cuenta cuatro componentes, tres de estos componentes relativos a la composición, siendo el cuarzo, el feldespato y los fragmentos de roca; y otro relativo al contenido en matriz detrítica. Los dos primeros diagramas triangulares pertenecen cada uno a una familia de areniscas y el último triángulo pertenece a las lutitas, que es un tipo de roca sedimentaria clástica pero no pertenece a las areniscas. Por ello, aunque los resultados son también aplicables a las lutitas, el tercer triángulo no será estudiado.

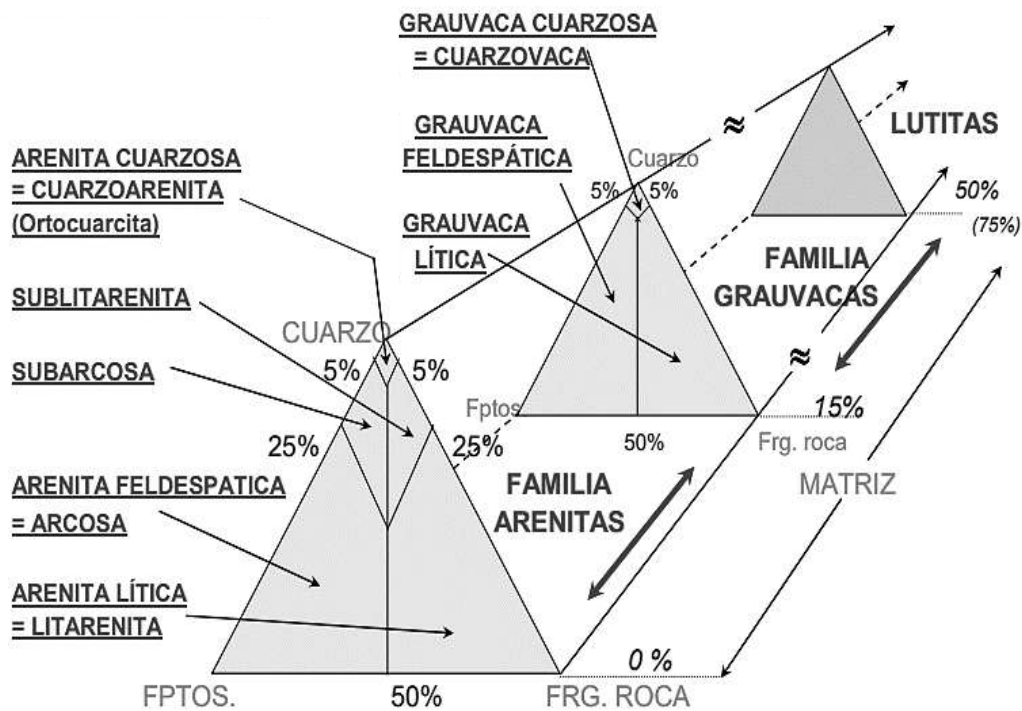


Figura 16. Clasificación de Pettijohn et al. (1987), tomado de (Jabbour et al., 2009)

La interpretación de la Figura 16 puede resultar un poco compleja, por lo que un resumen de dicha interpretación se refleja en la Tabla 9. Esta muestra cada uno de los tipos de roca, el intervalo de porcentaje de matriz, los intervalos de porcentaje de cuarzo, porcentaje de feldespatos y porcentaje de fragmentos de roca, que puede tener cada una de las arenitas y grauvacas. Cabe destacar, que estos 3 porcentajes deben totalizar un 100 %, indiferentemente del caso (Jabbour et al., 2009).

Tabla 9. Valores correspondientes a cada tipo de roca, tomando en cuenta la clasificación de (Pettijohn et al. 1987)

| Tipo de familia | Tipo de roca | Cuarzo (%) | Feldespatos (%) | Fragmentos de Roca (%) | Matriz (%) |
|-----------------|---------------|---------------|-----------------|------------------------|-------------|
| Arenitas | Cuarzoarenita | $C > 90$ | $0 < F < 5$ | $0 < Fr < 5$ | |
| | Sublitarenita | $50 < C < 95$ | $0 < F < 25$ | $5 < Fr < 25$ | |
| | Subarcosa | $50 < C < 95$ | $5 < F < 25$ | $0 < Fr < 25$ | Matriz < 15 |
| | Arcosa | $0 < C < 75$ | $25 < F < 100$ | $0 < Fr < 50$ | |
| | Litarenita | $0 < C < 75$ | $0 < F < 50$ | $25 < Fr < 100$ | |

| Tipo de familia | Tipo de roca | Cuarzo (%) | Feldespatos (%) | Fragmentos de Roca (%) | Matriz (%) |
|-----------------|--------------------------|--------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| Grauvacas | Cuarzovaca | $C > 90$ | $0 < F < 5$ | $0 < Fr < 5$ | |
| | Grauvaca Feldespática | $0 < C < 95$ | $0 < F < 100$ | $0 < Fr < 50$ | $15 < Matriz < 75$ |
| | Grauvaca Lítica | $0 < C < 95$ | $0 < F < 50$ | $5 < Fr < 100$ | |
| | Lutitas | Lutita | | | $Matriz > 75$ |

Fuente: Tomado de (Jabbour et al., 2009).

Para clasificar las areniscas y obtener los resultados mostrados en la Figura 16 y la Tabla 9, Pettijohn et al. (1987), utiliza el diagrama triangular mostrado en la Figura 17, en el que cada vértice del triángulo corresponde al 100 % del componente, y por tanto el 0 % de los otros dos. El componente Q es el cuarzo, el componente F es el feldespato y el componente FR es el fragmento de roca. Cada arista es un diagrama binario de los dos componentes que figuren en sus extremos, y obviamente con el 0 % del tercer componente (el vértice opuesto). Cada punto del interior representa tres valores de porcentajes que son directamente proporcionales a las distancias de las aristas opuestas al vértice en el que figura el componente. Además, pueden observarse ciertas divisiones horizontales y oblicuas, las cuales tienen el objetivo de facilitar la ubicación de una roca en el diagrama, es decir, sirven únicamente como referencia.

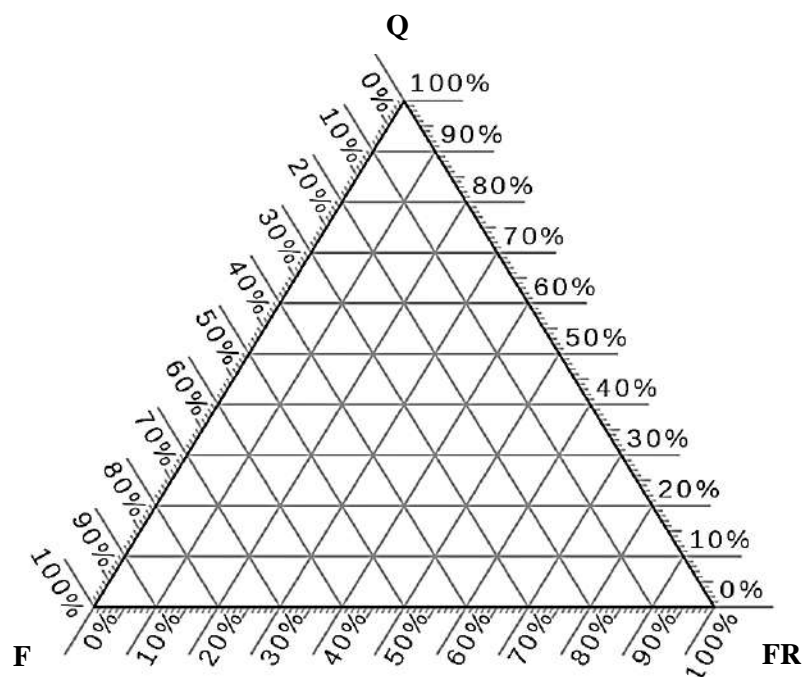


Figura 17. Diagrama triangular de Pettijohn et al. (1987), modificado de (Adewumi, 2016)

En la Figura 17, las divisiones antes mencionadas representan referencias múltiplos de 10, ya que la distancia de un vértice a la arista opuesta ha sido dividida en 10 partes iguales, y por sus valores se han trazado paralelas a dicha arista. De este modo, el triángulo queda dividido en 100 triángulos equiláteros menores, dentro de los cuales los márgenes de variación de Q, F y FR, son del 10 %. Para cada punto de unión de tres rectas, la suma de los tres porcentajes (Q, F y FR) es siempre 100. En cada unión, dependiendo de la parte del triángulo donde se encuentre, se define el tipo de roca (Jabbour et al., 2009).

Es importante precisar que, para la clasificación, se utiliza el método del conteo de granos “Gazzi Dickinson” en el cual es necesario un recuento de 400 granos por muestra (Dickinson, 1985; Dickinson y Suczek, 1979).

Cabe resaltar que en la clasificación de (Pettijohn et al. 1987), la matriz define el tipo de triángulo a utilizar, es decir, si la matriz es menor que 15 %, la roca que se está clasificando pertenece a la familia de las arenitas que conforman el primer triángulo; si la matriz está comprendida entre 15 % y 75 %, la roca pertenece a la familia de las grauvacas.

De manera general y de acuerdo a la Figura 16, las areniscas se clasifican en dos familias principales basadas en la composición:

➤ Familia de Arenitas

Presentan un porcentaje de matriz menor al 15 % y Pettijohn et al. (1987), las subdivide en cinco tipos de arenitas: arenita cuarzosa (cuarzoarenita), sublitarenita, subarcosa, arenita feldespática (arcosa) y arenita lítica (litarenita) (Jabbour et al., 2009).

- Arenita cuarzosa o cuarzoarenita

Para Boggs (2009), las cuarzoarenitas presentan una composición de más del 90 a 95 por ciento de granos silíceos (cuarzo, chert, fragmentos de roca cuarzosa). Su color característico suele ser blanco o gris claro, pero los óxidos de hierro pueden teñirlos de rojo, rosa, amarillo o marrón. Por lo general, están bien litificados y bien cementados con cemento de sílice o carbonato; sin embargo, algunos son porosos y friables. Las arenitas de cuarzo generalmente ocurren en asociación con conjuntos de rocas depositadas en ambientes cratónicos estables, como ambientes eólicos, de playa y de plataforma. Por lo tanto, tienden a

intercalarse con carbonatos de aguas poco profundas y, en algunos casos, con areniscas feldespáticas.

- Arenita feldespática o arcosa

Se caracterizan por presentar más del 25% de feldespatos, aunque para (Alonzo, 2010), normalmente presentan proporciones de Feldespatos comprendidas entre el 40 y 50%. Los feldespatos potásicos dominan si el área fuente es corteza continental, si el área fuente es volcánica predominan las plagioclasas. Son generalmente de color beige o rosado debido al color de los feldespatos y también a la presencia de hematites finamente diseminado sobre los granos, pues muchas arcosas forman parte o constituyen sucesiones rojas.

Las arcosas pueden ser desde productos de alteración que han sufrido un mínimo transporte a areniscas muy bien ordenada y con estratificaciones cruzadas que han sufrido un transporte importante. Texturalmente son rocas o sedimentos cuya selección varía de baja a buena, y con granos desde muy angulosos a subredondeados, variando estos parámetros texturales en función del transporte. Se diferencian de las cuarzoarenitas por el porcentaje de feldespatos en su composición, así mismo presentan una amplia variedad de cementos y procesos diagenéticos como son: cementación por calcita o cuarzo, cementos sintaxiales de feldespatos, y cementación y formación de matriz a partir de los minerales autógenos inestables (Alonzo, 2010).

- Arenita lítica o litarenita

Estas areniscas se caracterizan por un contenido en fragmentos de roca que está en exceso al del feldespato (Tucker, 2003), varían ampliamente en la composición tanto en términos de tipos de grano como en su química, dependiendo del tipo de fragmento de roca presente.

Los componentes más abundantes son los cuarzos monocristalinos (30-80%) y los fragmentos de roca (5-50%). La mezcla de granos de color claro (Cuarzo y Feldespato) con fragmentos de roca más oscuros da un aspecto moteado. Generalmente tiene poca matriz primaria, si tienen mucha matriz se parecen mucho a las grauvacas (Alonzo, 2010).

Los cementos son tanto de calcita como de cuarzo y es muy frecuente la presencia de matriz secundaria. La proporción de sílice puede variar desde el 90% (semejante al de las cuarzoarenitas) al 50-60% de las grauvacas. La proporción de Al_2O_3 y K_2O depende de la

proporción de fragmentos de lutitas o pizarras que incluya. La presencia de fragmentos de caliza y dolomías aumenta el porcentaje de los óxidos de Ca, Mg y CO₂ (Alonzo, 2010).

➤ Familia de Grauvacas

Son rocas que contienen más del 15 % de matriz y menos del 75 % de granos estructurales y en general con menos del 75 % de cuarzo. De acuerdo a la composición, las grauvacas se dividen o se clasifican en grauvaca cuarzosa (cuarzovaca), grauvaca feldespática y grauvaca lítica (Jabbour et al., 2009).

En general la familia de las grauvacas tiene un aspecto característico común, y es que, presentan una matriz de grano fino que consiste en un intercrecimiento de clorita, sericita y granos de tamaño silt de cuarzo y feldespato. En la fracción arena, el cuarzo domina sobre los fragmentos de roca y el feldespato. Muchos fragmentos de roca diferentes están normalmente presentes, pero en muchos casos, dominan los tipos de rocas metasedimentarios y los sedimentarios de grano fino. Los fragmentos de rocas ígneas son comunes en algunas grauvacas, sobre todo los granos de extrusivas más ácidas y andesíticas. Los granos de feldespato son principalmente de plagioclasa sódica y estos normalmente se presentan como minerales recientes (Tucker, 2003).

El origen de la matriz ha sido denominado el problema de la grauvaca. Hay dos posibilidades: sedimento de grano fino depositado a lo largo con el fragmento arena, y la alteración diagenética de granos líticos inestables para producir una pseudomatriz (Tucker, 2003).

2.2.6.3. Procedencia y emplazamiento tectónico de las areniscas

La procedencia de las areniscas, se determina teniendo en cuenta la composición modal de los granos del entramado mostradas en secciones delgadas, plasmándose posteriormente los resultados en diagramas triangulares de clasificación QtFL (cuarzo total-Feldespatos-Fragmentos de roca lábiles) y QmFLt (cuarzo monocristalino-Feldespatos-Total de granos lábiles) planteados por Dickinson (1985). Esta clasificación, hace referencia directamente a la procedencia, es decir, clasifica los depósitos detríticos, en los distintos ambientes geotectónicos en los que se generan, en función de sus petrofacies. Por esta razón, estos diagramas pueden considerarse como diagnósticos de la procedencia.

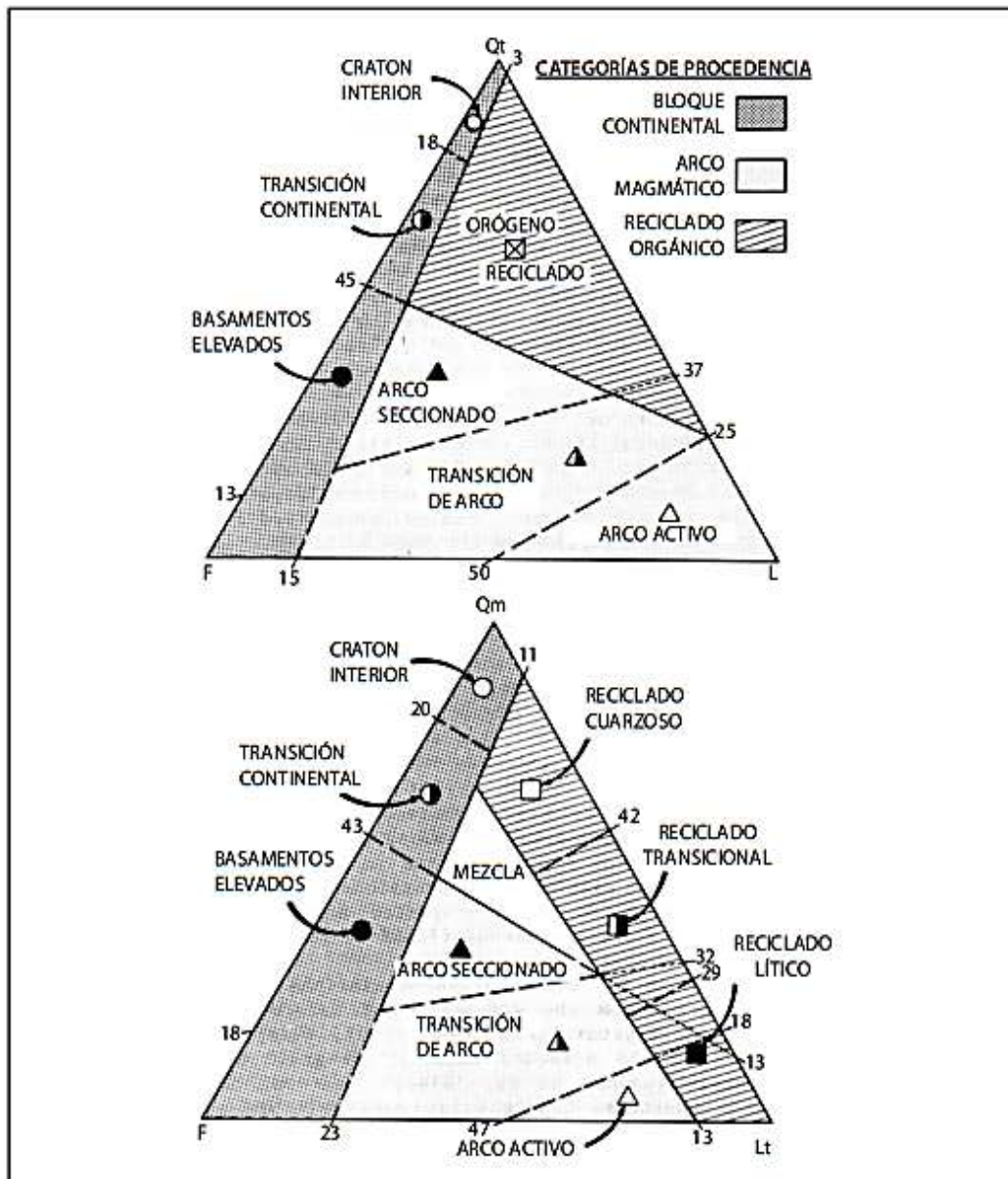


Figura 18. Campos composicionales de los distintos tipos de procedencia de arenas en diagramas triangulares QtFL (cuarzo total-Feldespatos-Fragmentos de roca lábiles) y QmFLt (cuarzo monocristalino-Feldespatos-Total de granos lábiles). Modificado de Dickinson et al. (1983) (Arribas, 2010).

De los diagramas mostrados en la figura 18, la representación triangular QtFL, pone a todos los granos de cuarzo juntos ($Q_m + Q_p$) con el cual se enfatiza a la madurez del sedimento; mientras que la representación QmFLt incluye a Q_p con los granos líticos, lo que le da prioridad a la roca fuente. Las categorías de grano determinadas, se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Nomenclatura para las categorías de granos presentes en areniscas.

| Granos de cuarzo (Qt = Qm + Qp) | Granos de feldespato (F = P + K) | Fragmentos Líticos (Lt = Qp + Lvm + Lsm) |
|--|---|--|
| Qt: Total de granos de cuarzo | F: Total de granos de Feldespato | Lt: Total fragmentos líticos (L+Qp) |
| Qm: Cuarzo monocristalino | P: Granos de plagioclasa | L: Total de fragmentos líticos inestables (Lvm + Lsm) |
| Qp: Cuarzo Policristalino | K: Granos de feldespato potásico | Lv/Lvm: Fragmentos líticos volcánicos / metavolcánicos |
| | | Ls/Lsm: Fragmentos líticos sedimentarios |

Fuente: (Tucker, 2003)

Dickinson y Suczek, (1979), distinguen tres tipos de procedencia en función del contenido mineral y la relación con su fuente de proveniencia. Estos son: Bloque continental, Arco magmático y Orógeno reciclado. Cada uno de estos ambientes de procedencia incluye grupos distintivos de rocas madres que arrojan sedimentos en cuencas asociadas.

➤ Procedencias de bloque continental

Este grupo está dividido en dos subgrupos y una zona de transición, los cuales vienen a ser el cratón interior y basamento elevado.

El **cratón interior**, se caracteriza por que está compuesto predominantemente por rocas de basamento que consisten en gran parte de rocas ígneas plutónicas félsicas y metamórficas, los sedimentos de estas áreas se caracterizan por su alto contenido de cuarzo, especialmente abundante en cuarzo monocristalino (Qm), en menores proporciones de cuarzo ondulante (Qo) y policristalino (Qp) (Dickinson y Suczek, 1979). Las areniscas derivadas de cratones interiores son generalmente cuarzosas con menor cantidad de fragmentos líticos y en ocasiones sin la presencia de feldespatos, lo que refleja múltiple reciclaje y quizá intensa meteorización y largas distancias de transporte en cratones de bajo relieve.

La producción de cuarzo está asociado a la alteración de rocas graníticas y/o gnéissicas que pudieron estar sometidas a condiciones con intenso desgaste (Dickinson, 1985). Las precipitaciones y los ríos denudan las regiones cratónicas en donde los sedimentos recorren

largas distancias para luego ser depositadas (Garzanti, 2019). En adición el cuarzo al ser un mineral con elevada resistencia mecánica (Folk, 1980) es el principal mineral asociado a márgenes pasivos.

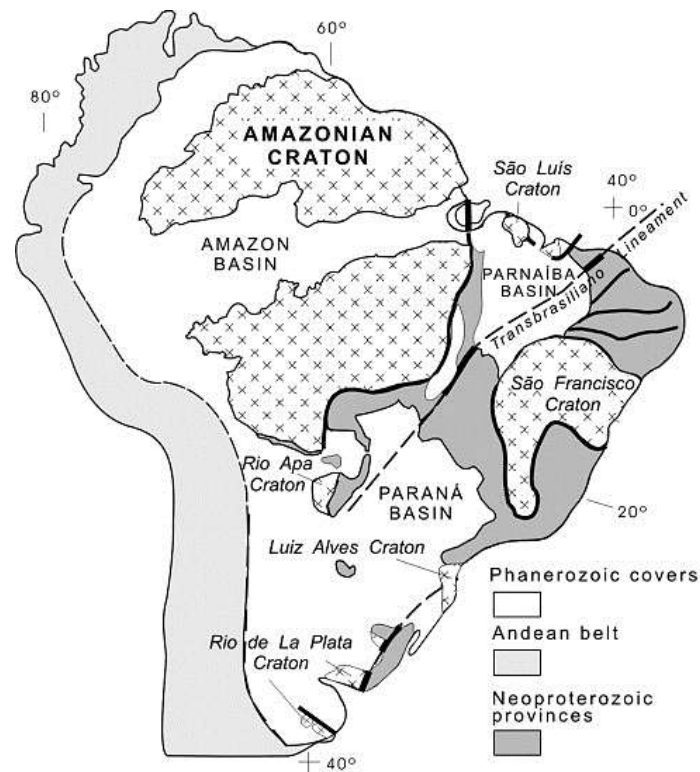


Figura 19. Esquema de los principales cratones en América Latina, y la formación de cuencas sedimentarias a partir de estos. Extraído de (Cordani et al., 2009).

Los sedimentos derivados de cratones son depositados en diferentes ambientes, de acuerdo a los procesos geológicos ocurridos luego de la erosión del cratón, tales como cuencas locales dentro del cratón, cuencas de antepaís (Foreland), o a lo largo de márgenes continentales dislocados en plataforma, pendiente, o ambientes de aguas profundas.

El **basamento levantado** generalmente consiste de rocas graníticas y gneises. El alto relieve en estos bloques facilita una rápida erosión, que genera relativamente areniscas feldespáticas gruesas y arcosas. Se caracteriza por originarse en un ambiente extensional ya que están relacionados a proceso de rift y fallas transformantes, en consecuencia, la mineralogía no varía mucho debido a la corta distancia de transporte (Wang et al., 2018).

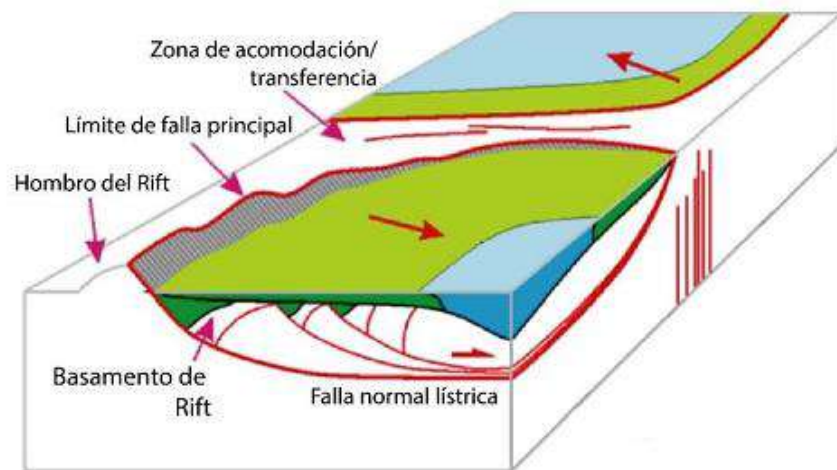


Figura 20. Representación del ambiente tectónico de basamento elevado. Los sedimentos derivan de los hombros del rift (área fuente), consolidando areniscas feldespáticas y arcosas en la cuenca, el espesor de los estratos no es constante y está controlado por el fallamiento activo. Modificado de Zhuo et al. (2013).

➤ Ambientes de arco magmático

Los arcos magmáticos producen arenas con alto contenido de fragmentos líticos volcánicos (Lv), sin embargo, a medida que la erosión es más profunda, en donde tienen lugar las rocas plutónicas, se generan restos cuarzo-feldespáticos, pudiendo resultar así una tendencia de volcánica a plutónica (Tucker, 2003).

La proveniencia de arcos magmáticos está asociada a complejos de subducción (Dickinson, 1985). La distancia de transporte de los sedimentos desde el arco hasta la cuenca antearco (Figura 21) (Takano et al., 2013) o trasarco es relativamente corta, es por ello que los granos de líticos volcánicos se preservan en las areniscas de esta clase.

En el ambiente de arco magmático, podemos identificar dos sub grupos: Proveniencia de arco no disectado, tienden a tener una cubierta de rocas volcánica casi continua. Los detritos se componen principalmente de feldespato, plagioclasa y fragmentos líticos volcánicos, muchos de los cuales contienen fenocristales de plagioclasas. Si el cuarzo está presente, es cuarzo volcánico. Por lo tanto, las areniscas derivadas de arcos magmáticos no seccionados son casi exclusivamente areniscas líticas volcánicas (Dickinson y Suczek, 1979). Proveniencia de arco disectado, expone rocas plutónicas profundas arrojan una mezcla de detritus volcánico y plutónico y bajo algunas condiciones pueden incluso arrojar detritus metamórficos o sedimentarios. Por lo tanto, el feldespato potásico y cuarzo plutónico pueden estar presentes en estos detritus junto con el material volcaniclastico. Las areniscas derivadas de arcos

seccionados son por lo tanto menos ricos en líticos volcánicos que los de los arcos no seccionada (Boggs, 2009).

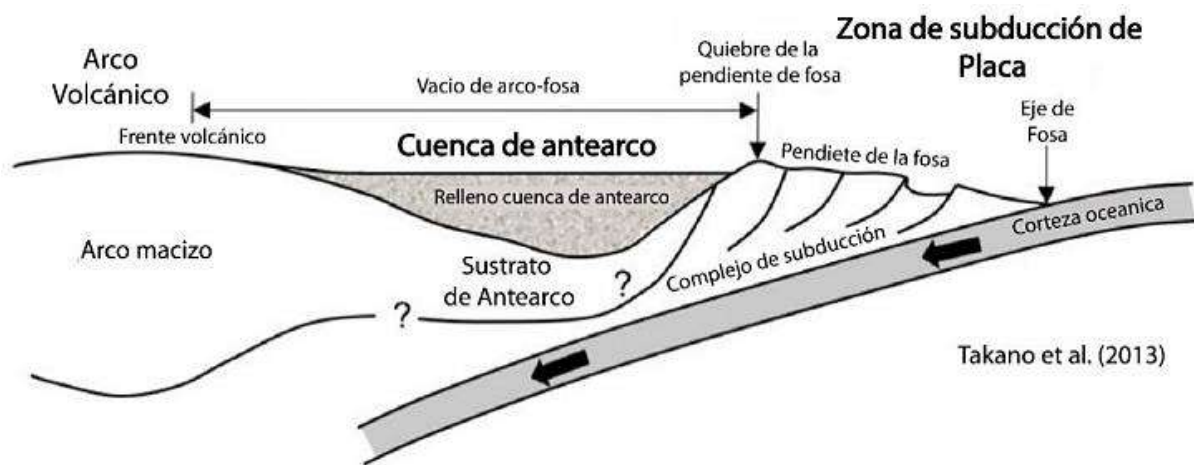


Figura 21. Cuenca de antearco asociado a zonas de subducción de placa. Los sedimentos ricos en líticos volcánicos derivan de la erosión del arco. Tomado de Takano et al. (2013).

➤ **Ambientes de orógenos reciclados**

Los orógenos reciclados están relacionados a colisión continental en donde los sedimentos derivan de la erosión de cadenas montañosas sedimentarias o metasedimentarias, en las cuales han tenido lugar procesos de plegamiento y fallamiento (Dickinson, 1985). Los Or genos de colisión están compuestos generalmente de mantos y capas de corrimiento de rocas sedimentarias y metamórficas, o incluso variedades ofiolíticas; por lo tanto, suites complejas de sedimentos pueden ser derivados de estos orógenos (Boggs, 2009).

Dickinson y Suczek, (1979), sugieren que las areniscas t picas están compuestas de material sedimentario depositado, tienen contenido intermedio de cuarzo, y una gran cantidad de fragmentos líticos sedimentarios y metasedimentarios. Areniscas menos t picas derivadas de orógenos de colisión son cuarzoarenitas, areniscas feldespáticas, y areniscas ricas en chert. Sedimentos que se desprenden de orógenos de colisión pueden ser eliminados en las cuencas de antepaís o pueden ser transportados longitudinalmente a las cuencas oceánicas adyacentes.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Componentes detríticos. - Es el conjunto de clastos o fragmentos de roca preexistentes acumulados mecánicamente, los cuales han experimentado cambios físicos, químicos y mineralógicos; y atravesado por diferentes procesos geológicos antes de convertirse en roca (Arribas 2010).

Proveniencia sedimentaria. – Se entiende por proveniencia de un depósito detrítico (y sedimentario en general) el origen o la fuente de la que procede ese depósito, incluyendo todos los factores que han contribuido a su formación. En Petrología Sedimentaria este concepto tiene unas connotaciones íntimamente relacionadas con la composición de los depósitos sedimentarios (Prado, 2018).

Composición modal total. - Se consideran todos los componentes de la roca, tanto componentes del esqueleto (extra e intracuencales), como diagenéticos (cementos) (Arribas, 2010).

Madurez composicional. – Una roca composicionalmente madura es aquella que contiene un gran porcentaje de minerales o fragmentos de roca químicamente estables y/o resistentes a la abrasión o disolución, entre ellos se distingue principalmente al cuarzo, y los minerales pesados en general (zircón, turmalina, rutilo, apatito, cuarcita), reflejando los procesos de meteorización en el área fuente y el grado y magnitud del retrabajo y transporte (Tucker, 2003).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Política

Políticamente la zona de investigación se encuentra ubicada en los caseríos Alto Perú y San Cirilo, Alto Perú perteneciente al distrito de Tumbadén de la provincia de San Pablo, y el caserío San Cirilo correspondiente al distrito y provincia de Cajamarca, del departamento de Cajamarca, entre los 3900 y 4100 msnm. (ver plano de Ubicación).

3.1.2. Geográfica

El área de investigación se ubica al NW de la ciudad de Cajamarca, en el sector nororiental del distrito de Tumbadén, en el departamento de Cajamarca, forma parte del cuadrángulo de Chota (hoja 14-f) en la zona 17S, abarca un área aproximada de 10 km², delimitada por las coordenadas del sistema de Unidad Técnica de Medida (UTM.) datum WGS-84, y está contenida dentro de los siguientes puntos:

Tabla 11. Puntos de ubicación geográfica

| VÉRTICE | ESTE | NORTE |
|---------|--------|---------|
| V1 | 765285 | 9238718 |
| V2 | 765285 | 9235809 |
| V3 | 762440 | 9235809 |
| V4 | 762440 | 9238718 |

3.1.3. Accesibilidad

Para acceder a los afloramientos rocosos de la Formación Farrat en los caseríos de Alto Perú y San Cirilo, se toma la carretera asfaltada Cajamarca–Hualgayoc con un promedio de 50 Km, posteriormente se toma el rumbo NE por la trocha carrozable Lagunas Alto Perú – San Cirilo una distancia de 1.5 Km aproximadamente, para realizar el recorrido en su totalidad se toma un tiempo aproximado de 1.5 horas en automóvil.

Tabla 12. Vías de acceso al sector Alto Perú – San Cirilo

| Tramo | Tipo de vía | Distancia (Km) | Tiempo (minutos) | Tipo de movilidad |
|---|--------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
| Cajamarca – Lagunas Alto Perú | Asfaltada | 50 | 74 | Auto |
| Lagunas Alto Perú – Zona de investigación | Trocha carrozable | 1.5 | 2 | Auto |

3.2. PROCEDIMIENTOS

3.2.1. Etapa preliminar de gabinete

La primera etapa consistió en la recopilación y selección de información, previa al trabajo de campo, realizando un análisis minucioso de los diferentes estudios realizados a nivel local y regional. Esta etapa en primera instancia, comprende la revisión de las cartas geológicas proporcionadas por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), a través de su plataforma virtual GEOCATMIN; así mismo se realizó un pre análisis a partir de imágenes satelitales, obtenidas a través del Freeware SAS Planet, de las cuales se definieron y delimitaron características geológicas importantes.

Posteriormente, se llevó a cabo la revisión de investigaciones petrográficas en rocas sedimentarias trabajadas a partir de secciones delgadas en la región Cajamarca, para luego definir el marco metodológico a seguir en esta investigación.

3.2.2. Etapa de campo

La segunda etapa se desarrolló mediante la toma de datos reales en campo, primeramente, se realizó la identificación y delimitación del área a estudiar, reconociendo la base, la parte central y el techo de la Formación Farrat, posteriormente se llevó a cabo el cartografiado geológico superficial, identificando la litología, dirección e inclinación de los estratos, fallas, lineamientos, texturas y estructuras, contrastando así la información revisada en la primera etapa.

Así mismo, se realizó el muestreo geológico superficial, en el cual se recolectaron 22 muestras de mano, de las cuales 4 de ellas (muestras obtenidas de la base, parte central y el techo de le Formación Farrat) serían representativas para el análisis petrográfico mediante secciones delgadas.

3.2.3. Etapa de gabinete

En la etapa final se procesó e interpretó la información obtenida en campo, plasmando el cartografiado en planos digitalizados a través del software ArcGIS 10.8, paralelamente a ello, se obtuvieron las fotomicrografías correspondientes a las 4 muestras representativas obtenidas durante el muestreo, las mismas que fueron obtenidas a partir de secciones delgadas, este análisis fue llevado a cabo por el Laboratorio Mine Metallurgy S.A.C., de las fotomicrografías se caracterizó y clasificó composicionalmente las areniscas de la Formación Farrat, de la misma manera que se analizó su procedencia y emplazamiento tectónico.

3.3. METODOLOGÍA

La investigación, se ha desarrollado siguiendo la metodología utilizada por Hernández y Mendoza, (2018). Es de tipo descriptiva y explicativa asociada al método mixto con diseño concurrente.

3.3.1. Tipo, Nivel, diseño y método de investigación

Tipo: Descriptivo

Para Hernández y Mendoza, (2018) la investigación descriptiva, tiene como finalidad especificar propiedades y características de conceptos, fenómenos, variables o hechos en un contexto determinado; siguiendo esta misma línea, esta investigación, tiene como finalidad especificar las propiedades y características petrográficas de las areniscas en base a su textura, estructura y el reconocimiento macroscópico y microscópico de los componentes mineralógicos. Además, define y mide las variables y las caracterizan, cuantificando y mostrando con precisión la composición petro-mineralógica.

Nivel: Explicativo

Pretendiendo determinar las causas de su composición, que dieron como resultado las areniscas de la Formación Farrat, la investigación, establece relaciones de causalidad entre las variables, en este caso, la relación que existe entre su textura, estructura y composición mineralógica; es a partir de ello, que se pretende explicar la procedencia y emplazamiento tectónico de los componentes mineralógicos presentes en estas rocas; asimismo, da a conocer los eventos que dieron paso a la depositación y posterior formación de estas rocas.

Método: Mixto

Esta investigación sigue el enfoque mixto desarrollado por Hernández y Mendoza, (2018), ya que implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos, para responder a un planteamiento del problema en común. Es decir, cuantitativamente, involucra datos numéricos, en este caso, la cantidad porcentual de los principales constituyentes presentes en las areniscas, a partir de los cuales se resuelve el problema de clasificación de estas rocas. Mientras que cualitativamente, se enfoca en describir las propiedades físicas de los granos, determinando así, su textura y estructura, a partir de las cuales se resuelve el problema de caracterización petrográfica. Los métodos mixtos caracterizan a los objetos de estudio mediante números (cantidad porcentual de los constituyentes) y lenguaje (propiedades físicas) e intentan recabar un rango amplio de datos para expandir nuestro entendimiento de aquellos.

Diseño: Concurrente

De acuerdo a Hernández y Mendoza, (2018), los estudios que siguen la ruta de investigación mixta, están asociados a diseños concurrentes, secuenciales, de conversión y de integración múltiple. Esta investigación, sigue el diseño concurrente, ya que analiza los datos cuantitativos y cualitativos de manera simultánea, además, no se manipula deliberadamente las variables; es decir se observa o mide las características petrográficas tal como se dan en un contexto natural, sin generar una situación premeditada que altere los resultados. Asimismo, implica la recolección de datos en determinado tiempo, teniendo como propósito describir las variables (textura, estructura y composición petro-mineralógica) en un momento dado.

3.3.2. Población de estudio

Rocas sedimentarias en los caseríos Alto Perú y San Cirilo en un área de 10 Km²

3.3.3. Muestra

Puntos de muestreo en la Formación Farrat en los caseríos Alto Perú y San Cirilo

3.3.4. Unidad de análisis

Textura, estructura y composición mineralógica de las areniscas de la Formación Farrat.

3.3.5. Definición de variables

Las variables que intervienen en la presente investigación se detallan en la Tabla 13

Tabla 13. Identificación de variables dependiente e independientes

| VARIABLES | |
|--------------------------|-------------------------------|
| Independientes | Dependientes |
| Textura | Características Petrográficas |
| Estructura | |
| Composición mineralógica | |

3.3.6. Técnicas de recolección de datos

De las técnicas de recolección de datos utilizadas por Hernández, Fernández y Baptista (2010), en esta investigación utilizamos básicamente dos, la primera, técnica documental, en la cual se tiene en cuenta los estudios petrográficos en rocas sedimentarias realizados a partir de secciones delgadas contenidos en libros, papers, boletines informativos, revistas científicas, plataformas virtuales de investigación, y todo tipo de trabajo relacionado al tema; y la segunda, la observación investigativa, en ésta última se desarrollaron dos tipos, la observación directa, en la cual se recolectaron datos reales directamente de los afloramientos rocosos de la Formación Farrat; y la observación mediante instrumentos, en donde fue necesario utilizar un microscopio petrográfico con luz transmitida, para determinar la composición y posterior clasificación de las areniscas.

3.3.7. Equipos y materiales

3.3.7.1. Equipos

GPS Navegadorio Garmin Etrex 32x: Para la ubicación espacial de los puntos de muestreo; a través de sus coordenadas UTM, (Unidad Técnica de Medida).

Brújula azimutal brunton: Utilizada para medición de dirección y buzamiento de estratos, planos de falla y estructuras vetiformes.

Cámara fotográfica Nikon Coolpix-20 Mpx: Equipo necesario para recopilar fotografías de las actividades en la etapa de campo.

Lupa Iwamoto 30x: Utilizada en la identificación y reconocimiento mineralógico y petrográfico de los principales constituyentes.

Picota de geólogo: Utilizada en la recolección y obtención de los 22 ejemplares de mano

Lápiz rayador punta carburo de tungsteno: Para identificar la dureza de las rocas, según la escala de Mohs.

Protactor: Utilizado en el cartografiado geológico en la etapa de campo, para plasmar en los planos las coordenadas, ángulos y orientaciones obtenidas

Flexómetro: Instrumento de medición utilizado para medir el espesor de los estratos de las Formaciones Geológicas identificadas.

Laptop: Equipo necesario para la digitalización del informe de tesis.

3.3.7.2. Materiales

Plano geológico y topográfico (escala 1/50,000) cordenadas UTM WGS - 84: Utilizados para ubicar la formación geológica de estudio, asimismo nos permitió definir la delimitación espacial del área correspondiente. En primera instancia, estos planos, fueron extraídos de las Cartas Geológicas pertenecientes al cuadrángulo de Chota 14-f-II y dispuestas por el INGEMMET a escala 1:50000, posteriormente se realizó el cartografiado a escala 1:12500.

Libreta de campo: La cual se ha utilizado para anotar las coordenadas de los puntos de muestreo, dirección y buzamiento de estratos, planos y fallas.

Formatos de clasificación petrográfica: Planteados por Arapa (2019), fueron utilizados para la descripción y caracterización macroscópica de las 22 muestras tomadas.

Colores y marcadores: Utilizados en el cartografiado geológico y etiquetado de muestreo, de la Formación en estudio.

Bolsas de polietileno transparente para muestreo: Son utilizadas en la recolección de los 22 ejemplares de mano

3.4. GEOLOGÍA LOCAL

Los afloramientos rocosos de la Formación Farrat en los sectores Alto Perú – San Cirilo, corresponden al cuadrángulo de Chota, el cual ha sufrido algunos cambios a lo largo de los últimos años, el INGEMMET viene actualizando los mapas que conforman la Carta Geológica Nacional a escala 1:50000, por lo que el área de interés se encuentra contenida en la carta geológica 14-f-II, aquí la Formación Farrat aparece como única unidad del Grupo Goyllarisquizga, en su base en discordancia angular con las rocas volcánicas del Complejo Yanacocha y en el techo en concordancia con la Formación Inca. Sin embargo, según la cartografía realizada en esta investigación y en concordancia con la investigación de (Moreno, 2019), se ha podido diferenciar el contacto litológico con la Formación Carhuáz (ver plano geológico, P - 04).

3.4.1. Grupo Goyllarisquizga

3.4.1.1. Formación Farrat

La Formación Farrat, se formó en la conocida Cuenca Mesozoica Oxidental (Cuenca Chicama). En Cajamarca y sus alrededores forma parte del Grupo Goyllarisquizga juntamente con las formaciones Chimú, Santa y Carhuaz; mientras que en los bordes de la cuenca todo el paquete sedimentario se considera como una sola unidad (Grupo Goyllarisquizga).

La base de esta formación yace concordantemente sobre la Formación Carhuaz y el techo es cubierto, concordantemente, por la Formación Inca. En cuanto a su edad es determinada por Wilson (1984) y Reyes (1980), los cuales la consideran del Barremiano Superior – Aptiano Inferior.

➤ Miembro Inferior

En el sector Alto Perú- San Cirilo, la Formación Farrat consta, en su base, de una secuencia clástica constituida por areniscas grises de grano fino a medio (con tamaño de grano 0.125 – 0.5 mm) intercalada con limolitas y limoarcillitas. Petrográficamente, las areniscas, están constituidas por agregados detríticos de cuarzo monocristalino, y aislados fragmentos líticos, con moderado grado de recristalización y con extinción ondulante. La matriz / cemento está constituida por agregados criptocristalinos de cuarzo policristalino, con impregnaciones de illita-sericita ocupando intersticios (Mine Metallurgy S.A.C., 2023).



Foto 1. Areniscas grises de grano fino con pátinas rojizas de óxido, intercaladas con pequeños lechos de arcillitas bituminosas – miembro Inferior de la Formación Farrat

➤ Miembro Medio

En el miembro medio predominan las areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, según el análisis petrográfico realizado por Mine Metallurgy S.A.C., (2023), presentan un tamaño de grano entre 0.15 a 1 mm. Está conformada principalmente por agregados detríticos monocristalinos de cuarzo. Minerales arcillosos, zircón, rutilo, apatito y óxidos de hierro. Los detritos de cuarzo presentan formas subangulosas y bordes suturados, se muestran deformados mostrando extinción ondulante y forman puntos triples.



Foto 2. Areniscas cuarzosas de grano medio a grueso – miembro medio de la Fm. Farrat

➤ Miembro Superior

En el miembro superior presenta areniscas de color gris claro con pátinas rojizas de óxido, dominan los detritos de grano medio con tamaño de grano 0.25 a 0.5 mm, sin embargo, presentan bandas de grano grueso a muy grueso (0.36 a 2 mm). Microscópicamente presenta cuarzo monocristalino de formas irregulares con extinción recta a ondulante.



Foto 3. Areniscas cuarzosas de grano medio con bandas de grano grueso – Miembro Superior de la Formación Farrat.

3.4.1.2. Depósitos Cuaternarios

El área de investigación posee gran cantidad de depósitos cuaternarios de origen glaciar, se extienden al Noroeste, por todo el corte de la cantera Quebrada Honda, al sur por las lagunas La Compuerta e Islacocha, y al Sureste por el corte de la carretera Alto Perú - San Cirilo (base de la Fm. Farrat) (ver plano geológico). Estos depósitos han sido transportados y depositados por el agua del deshielo producto de las glaciaciones ocurridas durante el pleistoceno (hace 2.5 MA) (López, 2014), dejando grandes extensiones de tillitas y morrenas, su composición es muy heterogénea y la distribución es altamente errática, pues contienen fracciones desde limos y arcillas hasta gravas, cantos y bloques.

Los depósitos que se extienden tanto al Sur como al Suroeste, a lo largo de la laguna La Compuerta y el corte de la carretera Alto Perú - San Cirilo, presentan espesores de hasta 10 metros, compuestos por gravas, cantos y bloques que superan los 25 cm de diámetro, con forma

sub-angulosa; mientras que los depósitos que se extienden al Noroeste a lo largo de la quebrada Honda – exponen gravas, cantos y bloques subredondeados debido al ligero transporte que sufrieron a lo largo de la quebrada, por lo que a estos últimos se los ha cartografiado como depósitos cuaternarios fluvioglaciares.



Foto 4. Cuaternario Fluvioglacial en el corte de la Cantera Quebrada Honda, presenta gravas cantos y bloques subredondeados no consolidados de más de 25 cm de diámetro en una matriz limosa.

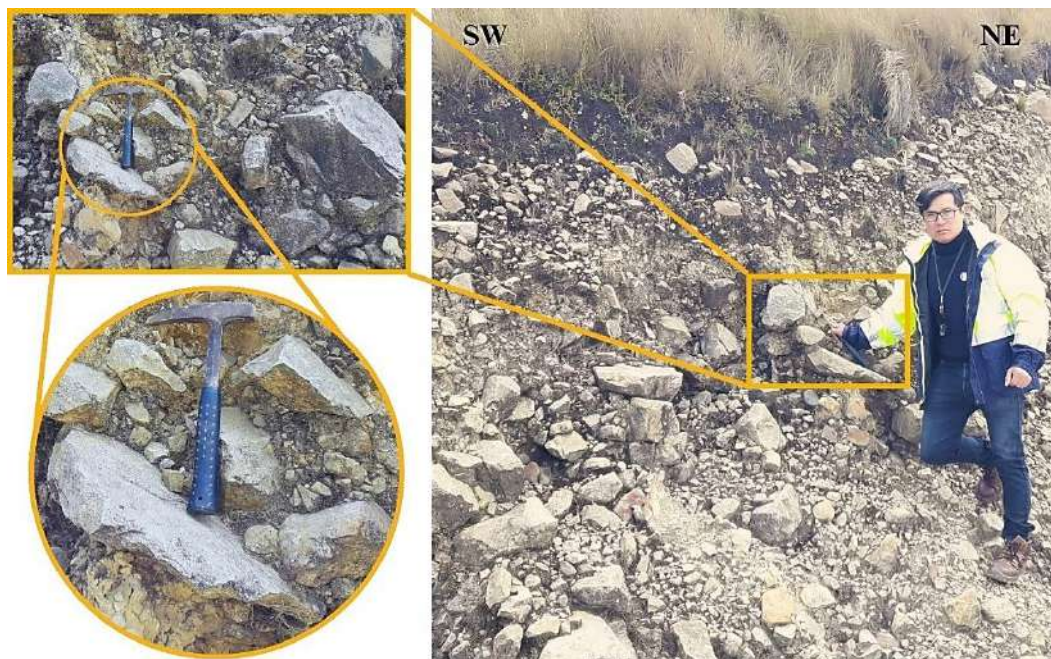


Foto 5. Exposición de depósitos cuaternarios de origen glaciar en el corte de la carretera Alto Perú – San Cirilo, nótese la mala distribución de gravas, cantos y bloques subangulosos de más de 25 cm de diámetro en una matriz limo-arcillosa.

3.5. MARCO ESTRATIGRÁFICO

El levantamiento de la columna estratigráfica se realizó para los tres miembros de la Formación Farrat, inferior, medio y superior, en cada uno se levantó la columna litológica e identificó las características texturales y estructuras sedimentarias más representativas, dando como resultado la columna estratigráfica local mostrada en el Anexo IV – Plano N° 6.

3.5.1. Miembro Inferior

La columna litológica del miembro inferior tiene un espesor de 150.5 m y consiste en areniscas grises de grano fino a medio, con estratos relativamente delgados que van desde 5 a 120 cm; intercaladas con limolitas y arcillitas bituminosas, el ordenamiento interno de los estratos en su mayoría es estratificación laminar con algunos estratos con laminación sesgada.



Foto 6. Vista panorámica del miembro inferior de la Formación Farrat

3.5.2. Miembro Medio

La columna litológica del miembro medio, tiene un espesor de 163.1 m (desde los 150.5 m hasta los 313.6 m sobre el segmento 1) y consiste en areniscas blanquecinas de grano medio a grano grueso, el ordenamiento interno de los estratos en su mayoría es estratificación laminar, con algunos estratos con laminación sesgada. A diferencia del miembro inferior, en el miembro medio, los estratos de areniscas, aumentan considerablemente su espesor, alcanzando los tres metros aproximadamente.



Foto 7. Vista panorámica del miembro medio de la Formación Farrat.

3.5.3. Miembro Superior

La columna litológica del miembro superior tiene un espesor de 171.2 m (desde los 313.6 m hasta los 484.8 m sobre el miembro medio) y consiste en areniscas gris blanquecinas de grano grueso a areniscas con bandas de grano muy grueso, el ordenamiento interno de los estratos en su mayoría es estratificación laminar, algunos niveles con laminación sesgada y estratificación sesgada.

3.6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El comportamiento cinemático de los afloramientos rocosos de la Formación Farrat en el área de estudio, ha sido controlado por dos sistemas de fallas principales, el primero, longitudinal, de dirección andina con rumbo NW-SE, y el segundo formado en dirección transversal al sistema andino, de rumbo NE – SW (Rivera, 2007), ambos sistemas de fallas se encuentran asociados a la deflexión de Cajamarca. La deflexión de Cajamarca, se inicia en el Campaniano, en la fase tectónica Peruana (Benavides, 1999), y culmina en el mioceno tardío de la fase tectónica Quechua II. La evolución de la deflexión de Cajamarca inicia con la fase tectónica peruana, pero es en la fase tectónica Inca II, donde la compresión máxima afecta la columna sedimentaria Cretácica, originando repliegues y fallas inversas de tendencia NW a WNW, esta fase es decisiva en la evolución de la deflexión de Cajamarca ya que se produce una rotación de la cuenca Cajamarca en sentido antihorario alcanzando los 25° en el oligoceno

(Mitouard et al., 1992), esta rotación estaría relacionada al comportamiento transpresivo sinistral de las Transformantes Hualgayoc y Trujillo. Estas fallas transformantes juegan un papel importante en el emplazamiento de yacimientos minerales relacionados al magmatismo – vulcanismo (Bazán, 2016).

Dentro de la zona de investigación se han identificado sistemas de cizalla en el alineamiento principal de dirección andina NW – SE, originados en la fase tectónica peruana y reactivados en la fase tectónica inca II, donde la deflexión de Cajamarca alcanza su máxima deformación, este sistema de cizalla, permitió el ingreso de un Stock intrusivo ligado a la mineralización en el cerro San Cirilo (estructura identificada a 700 metros al NE del área de investigación), descrito por Quispe y López (2014), intruyendo a rocas sedimentarias del cretácico, y permitiendo la formación y emplazamiento de estructuras mineralizadas vetiformes tanto en la dirección del sistema andino como trasandino, las cuales se exponen dentro del área de investigación al este en la Cantera Quebrada Honda y al oeste por el corte de la carretera Alto Perú – San Cirilo, dejando además estructuras de tipo Stockwork y un intenso brechamiento a lo largo de la falla cortaderas (ver plano geológico), quedando afectadas las areniscas de la Formación Farrat del cretácico inferior. Torres et al., (2020), en su investigación del mega sistema estructural Cajamarca, plantea que estas estructuras mineralizadas, genéticamente se relacionan con mega sistemas de fallas regionales de dirección NW – SE, asociándolos a los estudios del sistema de fallas Punre-Canchis de Rivera, (2007) y la deflexión de Cajamarca de Bazán, (2016), que en función de su convergencia oblicua respecto de las placas tectónicas tienen un factor de rumbo, formando así fallas de desplazamiento de rumbo tipo strike slip, lo que es claramente observable en los corredores estructurales Michiquillay – Hualgayoc y San Pablo – Porculla (Enríquez et al., 2000). Con respecto al sistema de fallas de dirección trasandina alineados al corredor Chicama - Yanacocha, se explica considerando que estas son expresiones estructurales secundarias de fallas de rumbo andino (Rivera y Santisteban, 2008).

3.5.1. Fallas

La falla geológica principal que ha controlado la dinámica del área de investigación, es la Falla Cortaderas, una falla de alto ángulo con cinemática dextral inversa de origen compresivo y de dirección andina (NW – SE), a ésta se asocian fallas locales de menor escala, también de dirección andina, tales como la Falla del Mirador San Cirilo y la Falla de la Laguna

Azul. Existen también fallas locales menores de dirección trasandina (NE – SW), generadas a partir de esfuerzos transpresivos a causa del movimiento de las fallas de dirección andina en el alineamiento principal NW – SE.

3.5.1.1. Falla Cortaderas

Se extiende desde la laguna Islacocha y se proyecta hacia el caserío Cortaderas (Hualgayoc), con una dirección $N165^\circ$ y buzamiento 65° al SW, esta estructura parece dominar la deformación en el área, está clasificada como falla dextral inversa, pues el movimiento paralelo a la línea de rumbo es mayor que el movimiento paralelo a la línea de buzamiento; este comportamiento se interpreta a partir del considerable desplazamiento, a lo largo de la línea de rumbo, que han tenido los estratos de la Formación Farrat del sector NE con respecto al bloque del SW (Foto 8); mientras que la línea de movimiento paralela al buzamiento es mucho menor (Plano geológico P – 04).

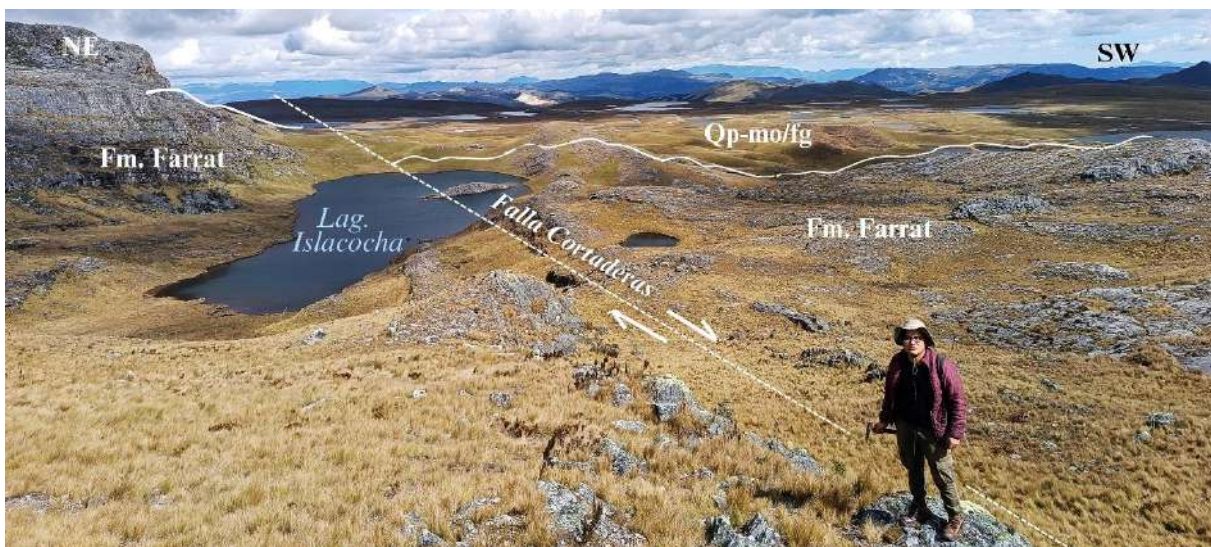


Foto 8. Cinemática dextral de la Falla Cortaderas, la cual describe el movimiento de los estratos del sector NE con respecto al bloque SW de las Formación Farrat.

El desplazamiento inverso de la falla cortaderas, se muestra en toda su extensión a 20 metros al SW de la laguna del Pedregal, en el punto de coordenadas, N: 9237682 y E: 763632, donde el plano de falla del bloque techo alcanza una altura máxima de 15 metros (ver Foto 9); asimismo se muestran las estrías de falla, pitch 15° , generado por el bloque NE. Además de la cinemática, a lo largo de la falla se muestra un intenso brechamiento (Foto 10), posiblemente se trate de una brecha hidrotermal asociada al stock intrusivo del cerro San cirilo, que se cementó en el material fracturado generado por la falla cortaderas (Plano geológico P – 04).



Foto 9. Plano de desplazamiento de la Falla Cortaderas, punto de coordenadas, N: 9237682 y E: 763632 / cota: 3933 msnm

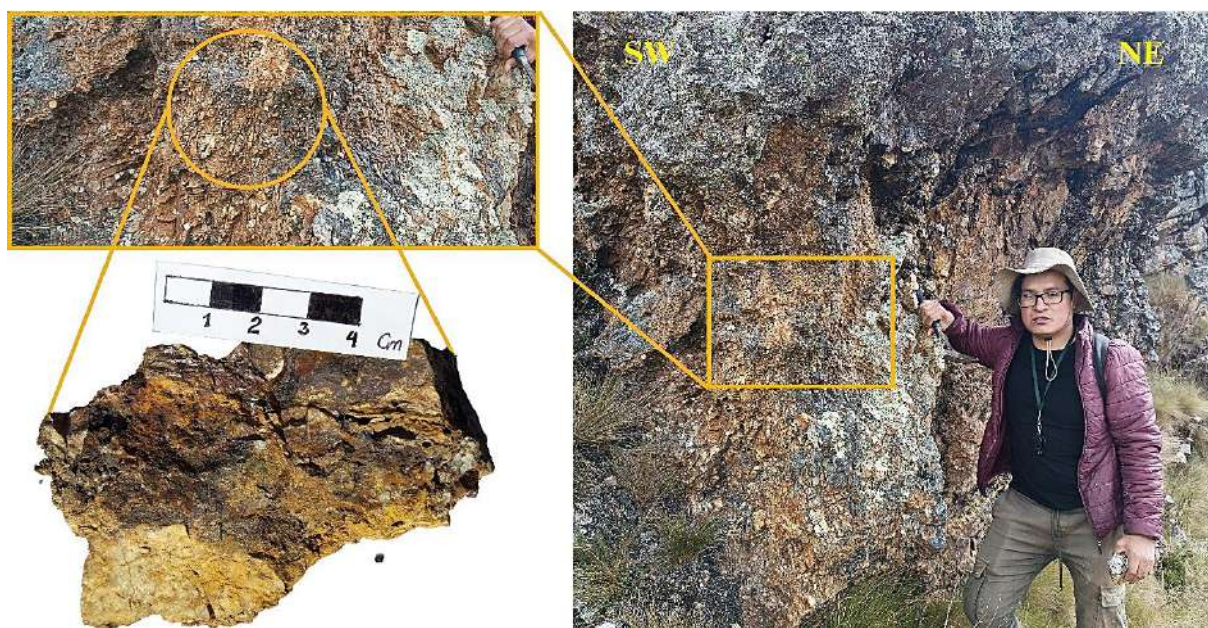


Foto 10. Brecha hidrotermal cementada en roca fragmentada por la Falla Cortaderas. Coordenadas de la fotografía, N: 9237639 y E: 763656 / cota: 3957 msnm.

3.5.1.2. Falla del Mirador San Cirilo

Está ubicada al oeste del Mirador San Cirilo, presenta una dirección N155° y un buzamiento de 80° al NE, se extiende desde el extremo Este de la Cantera San Cirilo y se proyecta hacia el caserío Cortaderas, interceptando a la falla principal Cotaderas en la quebrada Honda. Esta estructura, describe coherentemente los esfuerzos compresivos desde el SE, ya que desplaza de manera progresiva los estratos de las Formaciones Farrat y Carhuáz del bloque NE con respecto al bloque SW.

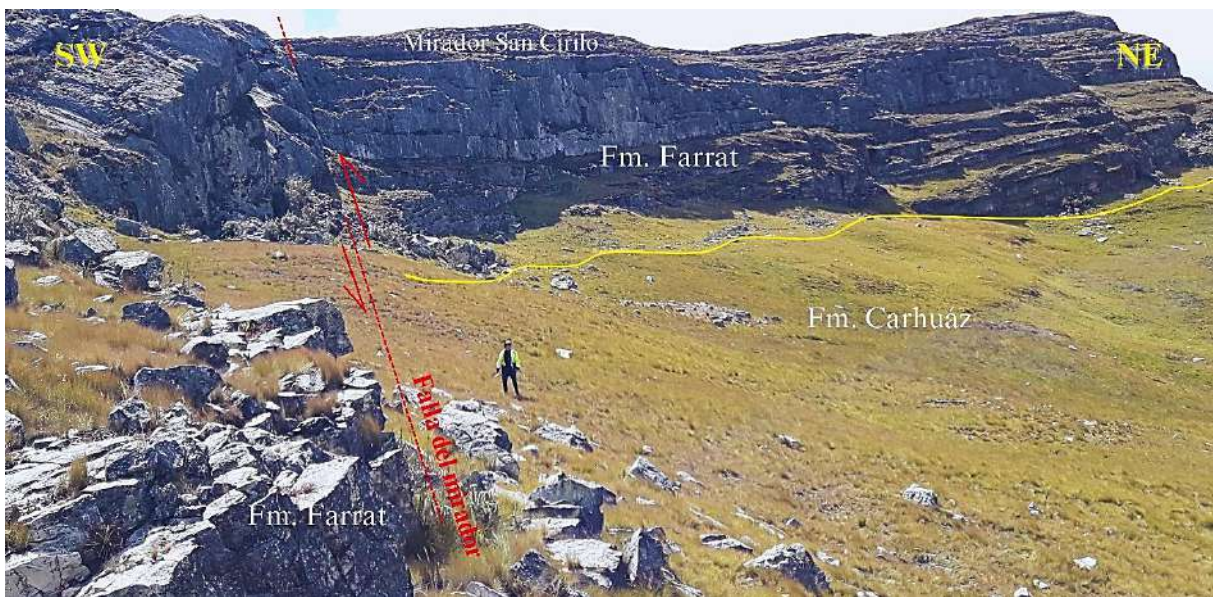


Foto 11. Desplazamiento progresivo del bloque NE con respecto al bloque SW - Falla del Mirador San Cirilo

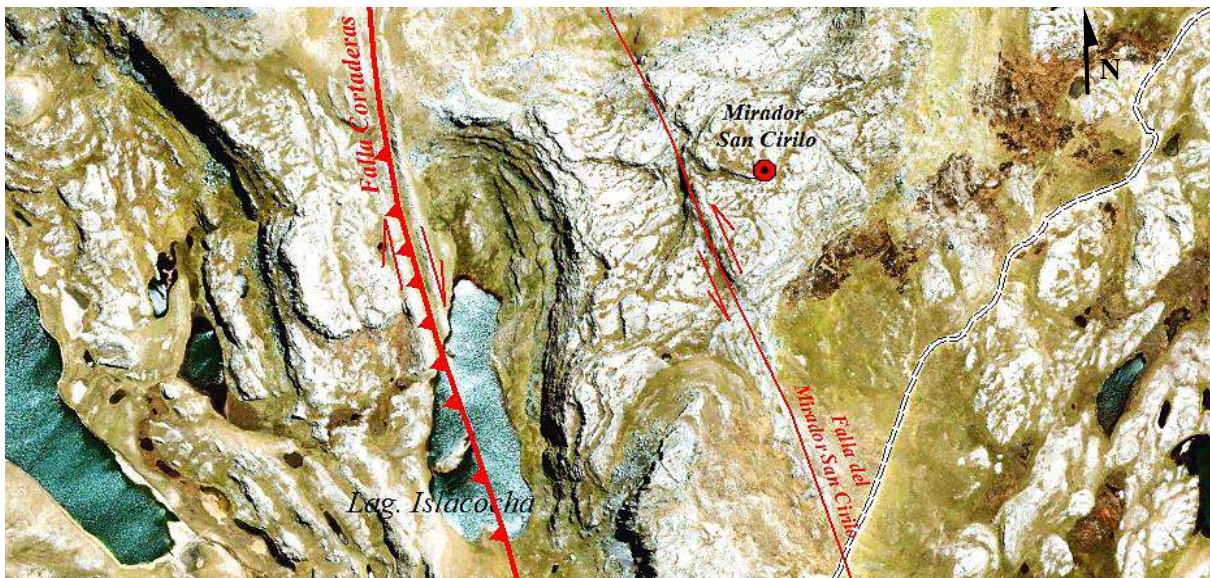


Foto 12. Cinemática Sinistral controlada por la Falla del Mirador San Cirilo

3.5.1.3. Falla de la Laguna Azul

Presenta una dirección N340° y un buzamiento de 74° al NE, intercepta a la falla Cortaderas al NW de la laguna azul cerca a la quebrada Honda.



Foto 13. Desplazamiento de rumbo de la falla de la Laguna Azul

3.5.2. Mineralización

Aproximadamente a setecientos metros al NE del área de investigación, específicamente en el Cerro San Cirilo y bajo las lagunas gemelas de Yanacanchilla, se ha identificado un Stock intrusivo miocénico de composición diorítica y granodiorítica ligado a la mineralización (Quispe y López, 2014) el cual corta las rocas sedimentarias cretácicas; ésta estructura se desarrolló entre el Oligoceno tardío al Mioceno temprano, donde la deflexión de Cajamarca tuvo su máxima deformación girando 25° en sentido horario (Mitourad et al., 1992), trayendo como consecuencia un magmatismo renovado que se desarrolló paralelo con la fase Inca (II – IV) (22Ma) el cual involucra el emplazamiento de stocks porfiríticos de composición intermedia a calcoalcalina, no solamente en esta zona, sino también en toda la franja paralela a la falla regional de cabalgamiento el Punre (Rivera, 2007), entre los cuales se desarrollaron los principales centros porfiríticos mineralizados de Au-Cu y Cu-Au-Mo y posiblemente a algunos depósitos epitermales de alta sulfuración (Gustafson et al., 2004). Es así como este cuerpo magmático-hidrotermal (Stock Intrusivo del Cerro San Cirilo), aprovechó la confluencia de las

fallas y lineamientos de orientación NE, con fallas regionales de dirección andina, descritas líneas arriba, para configurar lugares favorables para el emplazamiento principalmente de vetas y estructuras tipo stockwork, tal es el caso de la veta mostrada en la cantera Quebrada Honda (con dirección N355° y buzamiento 68° NE) (Foto 14), veta de la Cantera San Cirilo (dirección N190° y buzamiento 42°NW) (Foto 15) y las estructuras tipo Stockwork (Foto 16), mostradas en toda su extensión en la Cantera Quebrada Honda, por el corte de la Carretera Alto Perú – San Cirilo y a lo largo de la falla cortaderas respectivamente.



Foto 14. Emplazamiento de la Veta de la Cantera Quebrada Honda en los estratos de la Formación Farrat, en el corte de la cantera Quebrada Honda. Coordenadas fotográficas: N: 9237818 y E: 763006. Dirección N355° y buzamiento 68° NE.

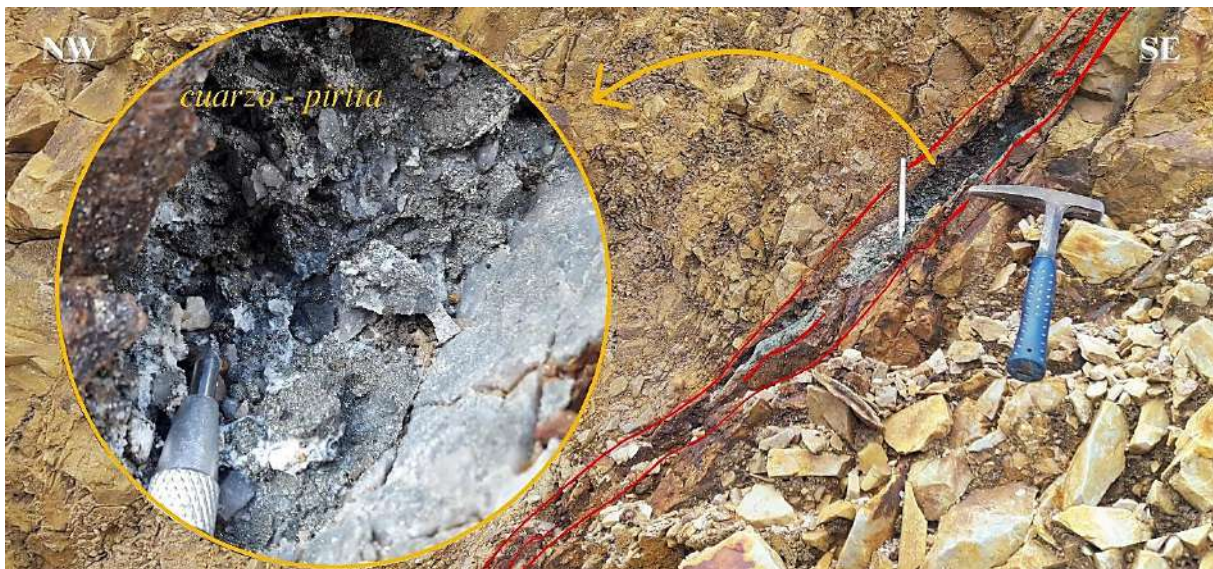


Foto 15. Veta de la Cantera San Cirilo emplazada en areniscas de la Fm. Farrat. Dirección N190° Y buzamiento 42°NW. Coordenadas fotográficas: N: 9236184 y E: 764416



Foto 16. Estructuras Stockwork mostradas a lo largo de la falla Cortaderas. Describen concentraciones de limonita, hematita, goethita y jarosita relleno de cavidades.

La mineralización en estas estructuras presenta las características de las zonas de óxidos y sulfuros primarios y secundarios. La zona de óxidos presenta leyes de hasta 6 gr/t de oro y 198 gr/t de plata (ver anexo II - A), y está ligada a concentraciones de limonita, hematita, goethita y jarosita y se muestran en las venillas que se encuentran diseminadas y relleno de cavidades en las estructuras principales, el oro asociado a los granos microscópicos está asociado a limonitas y cuarzo. La zona de sulfuros primarios muestra leyes de 0.7 gr/t de oro, 6.9 gr/t de plata y 0.01% de cobre (ver anexo II – B), está asociada con la calcopirita como mineral principal y la bornita en menor grado (Foto 17). Las rocas hospedantes presentan alteración de illita-sericita-pirita-cuarzo.

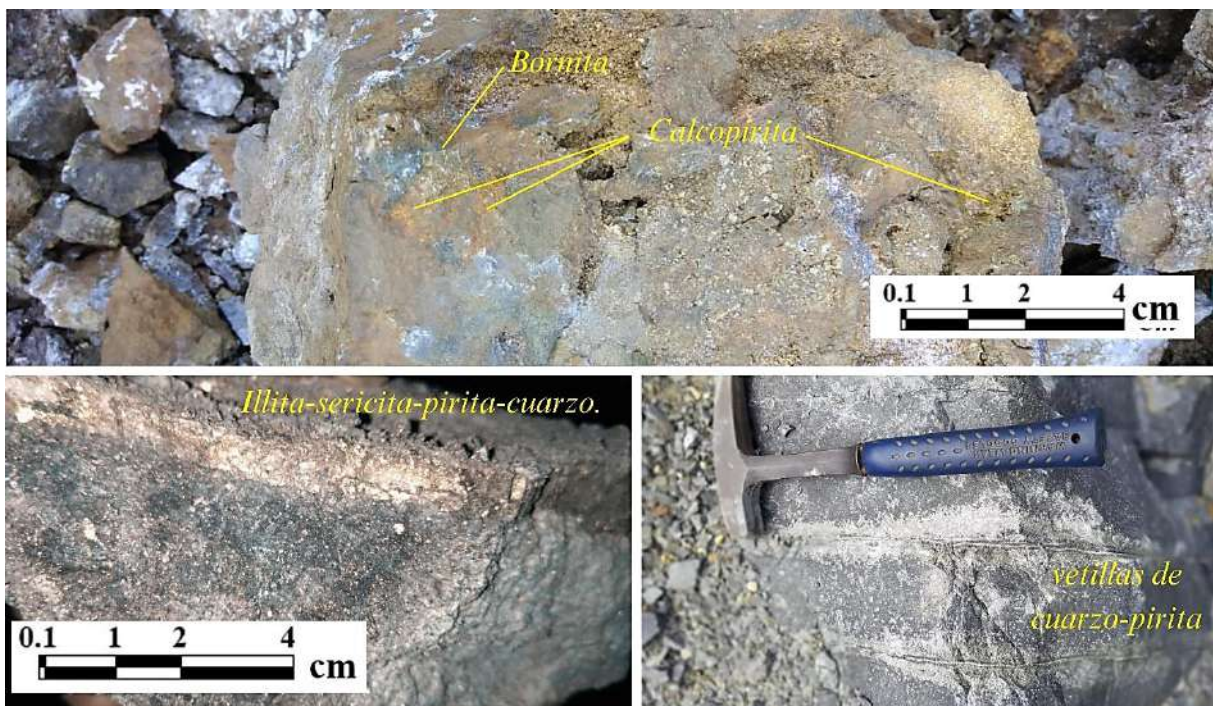


Foto 17. Sulfuros primarios y tipo de alteración

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1. Caracterización Petrográfica

El análisis petrográfico abarca la descripción y análisis macroscópico y microscópico de tipo composicional de las areniscas, con el objetivo de clasificar, y conocer los ambientes de depósito, la procedencia de los sedimentos y los escenarios tectónicos para el tiempo y lugar en que surge esta unidad. Para tal fin, se ha tomado 22 muestras de mano, de las cuales 6 corresponden al miembro inferior, 10 al miembro medio y 6 al miembro superior de la Formación Farrat, así mismo 2 de estas muestras corresponden a la estructura brechada mostrada a lo largo de la falla Cortaderas (ver tabla 15). En primer lugar, se ha desarrollado el análisis macroscópico, el cual consiste en la descripción de las propiedades físicas, texturales y estructurales de las rocas y el contenido modal de los principales constituyentes (composición), observables a simple vista o a través de una lupa geológica de veinte aumentos (20x), utilizando, además, un rayador imantado, ácido clorhídrico y gráficos de estimación visual (ver anexo I), para posteriormente clasificarlas, y analizarlas a través del formato petrográfico de descripción macroscópica propuesto por Arapa, (2019), (ver anexo III - A). En segundo lugar, se ha llevado a cabo el análisis microscópico, desarrollado mediante el análisis en secciones delgadas de cuatro muestras de areniscas, utilizando un microscopio petrográfico de luz transmitida, en adelante LT, bajo el respaldo de la empresa Mine Metallurgy S.A.C., especializada en servicios de Geología, y Caracterización Geometalúrgica.

Para hacer más práctica y entendible la descripción petrográfica microscópica, se ha utilizado abreviaturas para cada una de las especies minerales mostradas en la tabla 14, así mismo, para la caracterización macroscópica, se detalla la composición química, y algunas propiedades físicas como la densidad (g/cm^3) y la dureza (Escala de Mohs).

Tabla 14. Abreviaturas, nomenclatura y composición química de las especies minerales que componen a las areniscas.

| Nombre | | Símbolo | Composición química | Densidad (g/cm ³) | Dureza Mohs |
|----------------------|-----------------------|----------------|--|-------------------------------|-------------|
| Cuarzo (Qt) | Cuarzo monocristalino | Cz I Cz III | SiO ₂ | 2.7 | 7 |
| | Cuarzo Policristalino | Cz II | SiO ₂ | 2.7 | 7 |
| Epidota | | ep | Ca ₂ (Al,Fe) ₃ Si ₃ O ₁₂ (OH) | 3.5 | 7.0 |
| Apatito | | ap | Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,F,Cl) | 3.2 | 5.0 |
| Zircón | | zir | ZrSiO ₄ | 4.7 | 7.5 |
| Rutilo | | rut | TiO ₂ | 4.3 | 6.5 |
| Moscovita (Sericita) | | mus | KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ | 2.9 | 2.5 |
| Hidromica (Illita) | | ill | (K,H ₃ O)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,(H ₂ O)] | 2.8 | 1.5 |
| Alunita | | aln | KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ | 2.7 | 3.5 - 4 |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

Tabla 15. Datos de ubicación, clasificación y descripción del medio geológico (miembro de la Fm. Farrat) de los 22 ejemplares de mano

| Muestra | Coordenadas UTM WGS - 84 | | | Clasificación | | Unidad Litoestratigráfica |
|---------|--------------------------|---------|---------------|--------------------------|---------------|---------------------------|
| | Este | Norte | Altura (msnm) | Macroscópica | Microscópica | |
| M - 1 | 763289 | 9238001 | 3866 | Cuarzoarenita Bituminosa | N.A. | Farrat Superior |
| M - 2 | 763362 | 9238099 | 3870 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 3 | 763656 | 9237639 | 3957 | Brecha | N.A. | |
| M - 4 | 763389 | 9237797 | 3898 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 5 | 763730 | 9237993 | 3954 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 6 | 763547 | 9237770 | 4002 | Cuarzoarenita | Cuarzoarenita | |
| M - 7 | 763605 | 9237351 | 3887 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 8 | 763995 | 9237689 | 3921 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 9 | 764206 | 9237640 | 3981 | Limonita Limonitizada | N.A. | Farrat Medio |
| M - 10 | 763796 | 9237294 | 3990 | Cuarzoarenita | Cuarzoarenita | |
| M - 11 | 764457 | 9238053 | 4012 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 12 | 763653 | 9236866 | 3994 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 13 | 763980 | 9237152 | 3994 | Limolita | N.A. | |
| M - 14 | 763922 | 9237043 | 4033 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 15 | 763771 | 9236844 | 3978 | Brecha | N.A. | |
| M - 16 | 764433 | 9238614 | 4056 | Cuarzoarenita | N.A. | |

| Muestra | Coordenadas UTM WGS - 84 | | | Clasificación | | Unidad Litoestrati- gráfica |
|---------|-----------------------------|---------|------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | Este | Norte | Altura (msnm) | Macroscópica | Microscópica | |
| M - 17 | 764340 | 9236119 | 3961 | Cuarzoarenita | Cuarzoarenita recristalizada | Farrat Inferior |
| M - 18 | 764389 | 9236484 | 3893 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 19 | 764584 | 9237097 | 3976 | Cuarzoarenita | Cuarzoarenita | |
| M - 20 | 764682 | 9237661 | 3989 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 21 | 764637 | 9237866 | 4006 | Cuarzoarenita | N.A. | |
| M - 22 | 764804 | 9238371 | 3968 | Cuarzoarenita | N.A. | |

Abreviaturas: N.A.: No Aplica

4.1.1.1. Caracterización petrográfica de la muestra M – 06

a) Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M – 06

Roca sedimentaria detrítica de color gris claro a gris oscuro con tonalidades pardas en ciertos sectores, se observa la presencia de fracturas en la muestra con aberturas no mayores a los 0.2 cm aproximadamente. Se observa una presencia moderada de óxidos de hierro que se distribuyen en subparalelo en toda la muestra. No presenta magnetismo y es de densidad media a baja y no efervesce al contacto con ácido clorhídrico (HCl).

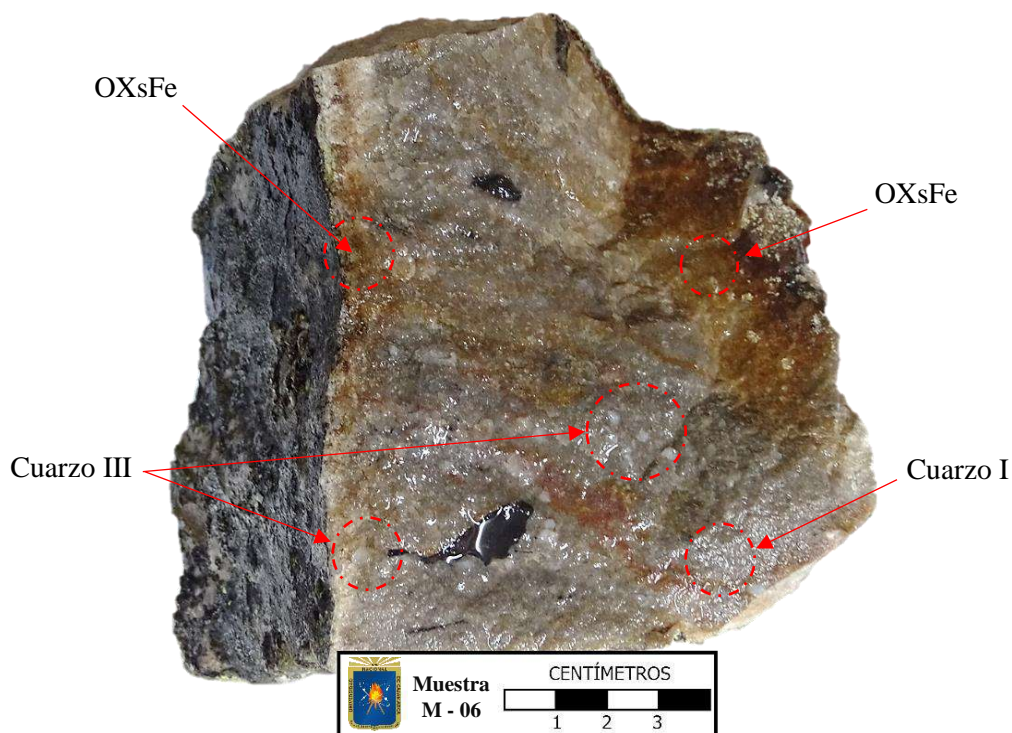


Figura 22. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M – 06. (Mine Metallurgy S.A.C., 2023).

b) Descripción petrográfica microscópica de la muestra M – 06

Roca sedimentaria detrítica que se encuentra conformada por detritos de cuarzo I con presencia de bandas de cuarzo III en el ejemplar. Se tiene una matriz de cuarzo II criptocristalino a microcristalino con sericita en intersticios, se observa también presencia de cristales de rutilo y zircones sobre los detritos de cuarzo I y III.

Se expone la predominancia de los detritos sobre la matriz, se observan minerales secundarios como son los minerales arcillosos que se encuentran junto a la sericita en los intersticios, así como los óxidos de hierro que se encuentran en diversos sectores tiñendo a los detritos y a la matriz.

c) Descripción mineralógica

Tabla 16. Descripción mineralógica microscópica de la muestra M – 06

| | MINERALES | TAMAÑO (mm) | % |
|---------------------------|--|------------------------|----------|
| DETRITOS PRIMARIOS | Cuarzo I. Se exponen como agregados anhedrales de formas irregulares presentando extinción recta y en algunos detritos se aprecia la extinción ondulante. Se puede observar que presenta una mala clasificación ya que se tienen detritos que presentan tamaños de hasta 2.4 mm de bordes irregulares a subredondeados. | < 0.36 | 58 |
| | Cuarzo III Expuestos en niveles que no presentan límites definidos, se encuentran como agregados anhedrales de bordes irregulares a subredondeados. En los intersticios de estos detritos se observa sericita junto a los óxidos de hierro. | < 1 | 30 |
| | Zircón. Cristales subhedrales de bordes rectos a subredondeados y se presentan sobre toda la matriz. | < 0.175 | Trazas |
| | Rutilo Se exponen como cristales subhedrales de bordes rectos y se encuentran dispersos sobre los detritos. | < 0.05 | Trazas |

| | | MINERALES | TAMAÑO (mm) | % |
|-------------------------|-----------------------------|--|----------------|-----|
| MATRIZ/CEMENTO | Cuarzo II. | Se exponen como cristales criptocristalinos a microcristalinos y se encuentran como parte de la matriz entre los intersticios de los detritos de cuarzo I y cuarzo III. | < 0.03 | 1 |
| | Sericita. | Expuestas como agregados fibrosos entre los detritos de cuarzo I y cuarzo III, también se encuentran junto al cuarzo II como parte de la matriz siendo teñidos por óxido de hierro en algunas zonas. | < 0.025 | 2.5 |
| | Minerales arcillosos | Se exponen como agregados microcristalinos que se encuentra en los intersticios de los detritos, se presenta junto a la sericita. | < 0.01 | 0.5 |
| SECUNDA RIOS | Óxido de hierro. | Se encuentra como agregados terrosos a microcristalino, se presentan en intersticios de los detritos de cuarzo I y cuarzo II. | < 0.02 | 7.5 |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

Tabla 17. Texturas principales, estilo de alteración y tipo de contacto de la muestra M - 06

| Roca | Textura | Alteración | Tipo de contacto |
|--------------|------------------------------|-------------|------------------------------|
| Sedimentaria | Clástica, de grano soportado | Penetrativa | Suturado y cóncavo - convexo |

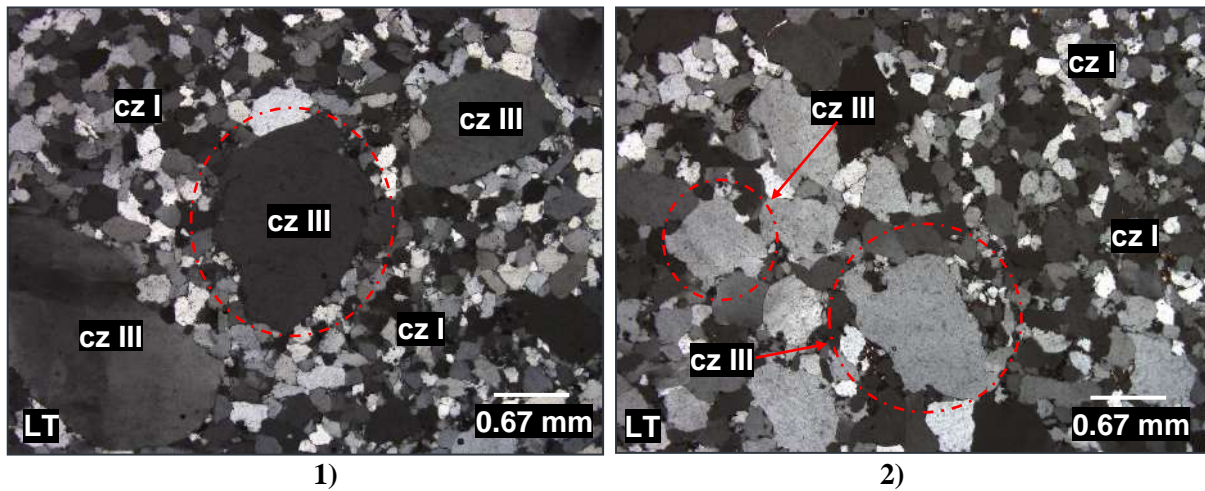
Tabla 18. Tipo de alteración y asociación mineralógica, muestra M - 06.

| Tipo de Alteración | Estilo | Intensidad | Asociación mineralógica |
|--------------------|-------------|------------|-------------------------|
| Limonitización | Penetrativa | Débil | Óxidos de hierro |

El análisis del tipo de alteración para la muestra M – 06, se realizó teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

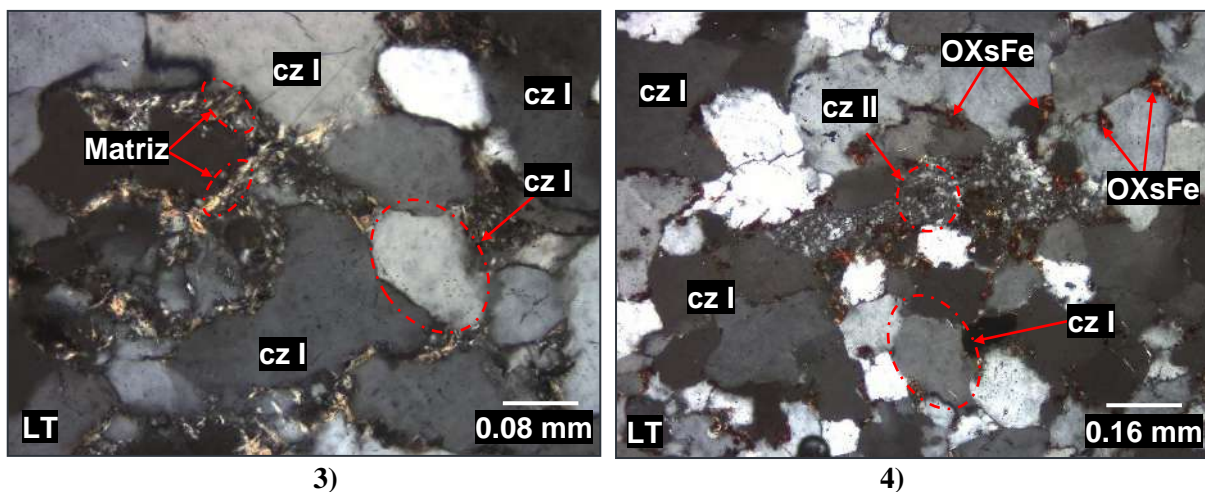
- Parámetros del grado de alteración o intensidad: Incipiente (Trazas: < 1%). Débil (1-11%). Moderada (12-49%). Fuerte (>50%)
- El Tipo de alteración hidrotermal esta dado en orden por relación temporal.

d) Secciones delgadas de la muestra M – 06



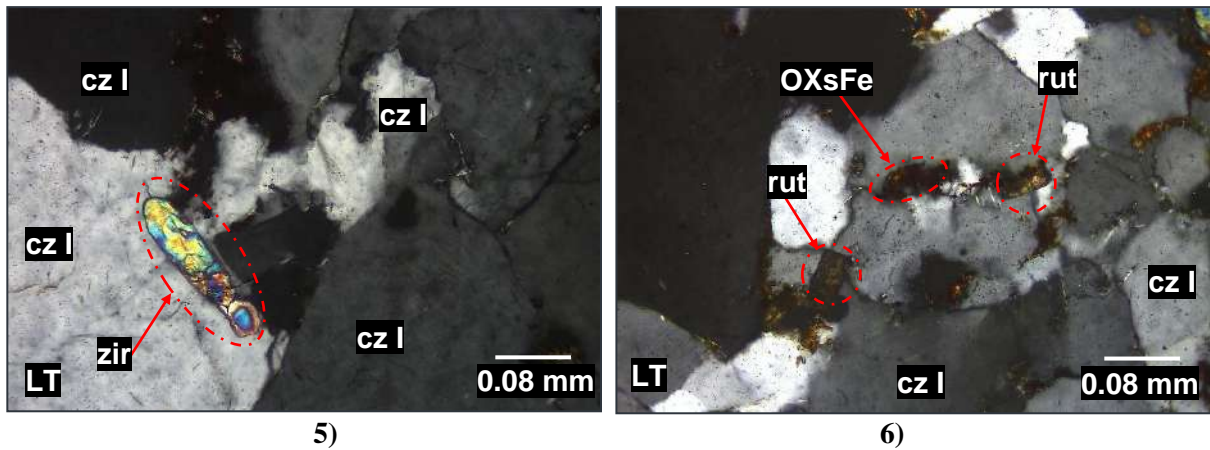
Fotomicrografías 1 a 2.- 1) Detritos de cuarzo III – cz III (30%) mal clasificados, con tamaños de hasta 2.4 mm, nótese los bordes irregulares a subredondeados. 2) Agregados de cuarzo I - cz I (58%) que se observan con bandas de cuarzo III (cz III) expuestos en niveles que no presentan límites definidos.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).



Fotomicrografías 3 a 4.- 3) Detritos de cuarzo I - cz I (58%) con sericita – ser (2.5%) como parte de la matriz entre intersticios; 4) Se observa la matriz entre los detritos compuesta por cuarzo II - cz II (1%) siendo teñida en algunas zonas por los óxidos de hierro – OxsFe (7.5%), se tiene también agregados fibrosos de sericita (ser) junto a óxidos (OXsFe) en los intersticios

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).



Fotomicrografías 5 a 6.- 5) Cristal subhedral de zircón -zir (< 0.5%) de bordes rectos a subredondeados que se encuentra sobre los detritos de cuarzo I - cz I (58%). 6) Cristales subhedral de bordes rectos de rutilo – rut (< 0.5%) sobre los detritos de cuarzo II - cz II (1%) con presencia de óxidos de hierro – OxsFe (7.5 %). Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

4.1.1.2. Caracterización petrográfica de la muestra M – 10

a) Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M - 10

Roca sedimentaria recristalizada, de color gris claro con tonalidades anaranjadas debido a la presencia de óxidos de hierro. Está constituido por masas detríticas de cuarzo recristalizado, sin predominancia de matriz. Presenta una densidad media y carece de magnetismo. No efervescer al contacto con el ácido clorhídrico (HCL)

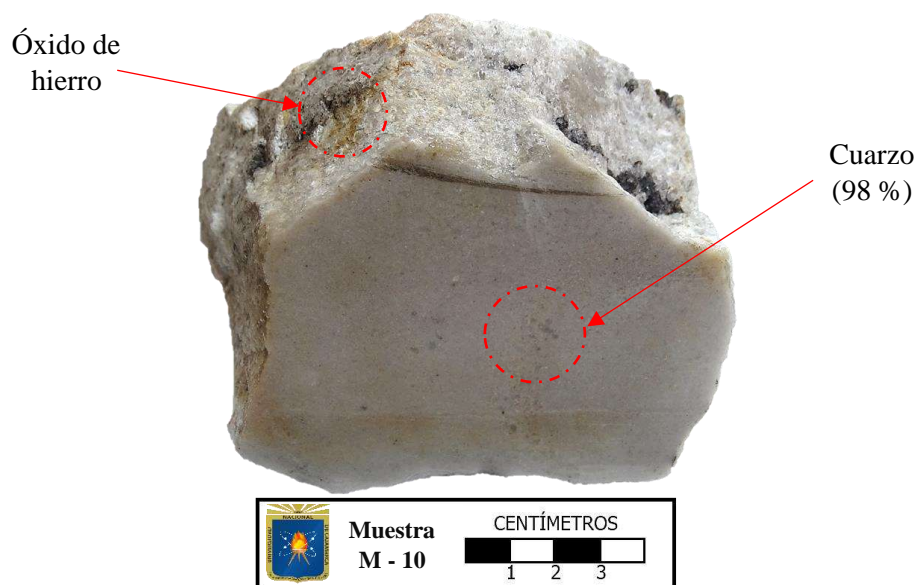


Figura 23. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M – 10.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

b) Descripción petrográfica microscópica de la muestra M - 10

Roca sedimentaria de textura clástica. Está conformada principalmente por agregados detríticos monocristalinos de cuarzo I, con pobre maduración. Minerales arcillosos, zircón, rutilo, apatito y óxidos de hierro. Los detritos de cuarzo presentan formas subangulosas y bordes suturados, se muestran deformados mostrando extinción ondulante y forman puntos triples. También se observan de manera intersticial agregados microescamosos de sericita – illita que algunos se encuentran teñidos por los óxidos de hierro.

c) Descripción mineralógica

Tabla 19. Descripción mineralógica microscópica de la muestra M - 10

| | MINERALES | TAMAÑO (mm) | % |
|---------------------|---|----------------|-------|
| DETRITOS | Cuarzo I. Se trata de agregados detríticos recristalizados con bordes sinuosos e irregulares; mostrando indentaciones producto de la compactación. Los detritos presentan una esfericidad baja a media y están pobremente redondeados. Algunos cristales presentan extinción recta a ondulante. Los detritos están pobremente clasificados. | 0.15 a 4 | 86.5 |
| | Fragmento silicificado. (FL) Se encuentra con formas subredondeadas de textura granoblástica que se encuentra reemplazada por sílice y tiene presencia de parches de sericita y teñidas por óxido de hierro. | < 0.25 | 1 |
| ACCESORIOS | Rutilo. Agregados granulares diseminados en la matriz y cemento. | < 0.64 | 1.5 |
| | Zircón. Se observa cristales subhedrales de forma prismática con bordes rectos que se encuentra incluidos en los cristales de cuarzo. | 0.075 | 0.5 |
| | Apatito. Se presenta como cristales euhedrales a subhedrales que se encuentra en los cristales de cuarzo. | 0.025 | Traza |
| MATRIZ / CEMENTO | La matriz es incipiente y la conforman agregados de sericita-illita, con arcillas y trazas de óxidos de hierro. | - | - |
| | Epidota. Se presenta como agregados xenomorfos que se encuentra incluidos algunos detritos de cuarzo I. | < 0.22 | Traza |

| MINERALES | TAMAÑO (mm) | % |
|--|------------------------|----------|
| Illita-sericita. | | |
| Agregados microescamosos y fibrosos que rellena intersticios entre detritos de cuarzo I. Están intercrecidos con minerales arcillosos. | < 0.03 | 6 |
| Arcillas. | | |
| Agregados que ocupa intersticios entre los detritos de cuarzo I. | - | 1 |
| Óxidos de Hierro. | | |
| Se presentan como agregados terrosos que tiñen a los agregados de sericita-illita. | - | 2 |
| Minerales Opacos. | | |
| Se encuentran como cristales subhedrales a anhedrales con bordes rectos y sinuoso diseminado en los cristales de cuarzo. | < 0.16 | 1 |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

Tabla 20. Texturas principales y tipo de contacto de la muestra M - 10.

| Textura principal | Tipo de contacto |
|------------------------------|-------------------------|
| Clástica, de grano soportado | Suturado |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

Tabla 21. Tipo de alteración y asociación mineralógica, muestra M - 10.

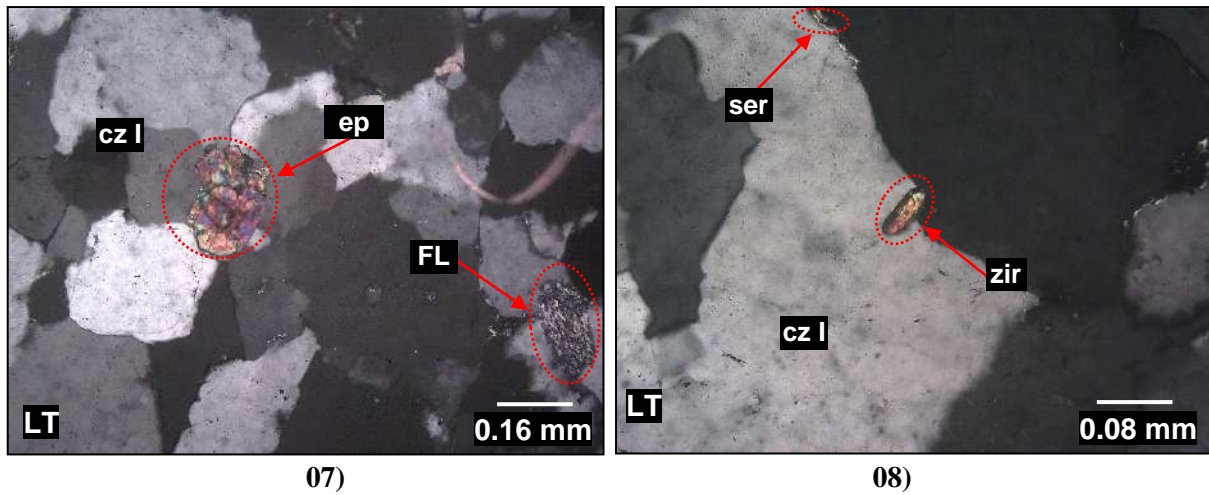
| Tipo de Alteración | Estilo | Intensidad | Asociación mineralógica |
|---------------------------|---------------|-------------------|--------------------------------|
| Limonitización | Relleno | Débil | Óxido de Hierro |
| Sericitización | Relleno | Débil | Sericita-Illita |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

El análisis del tipo de alteración para la muestra M – 10, se realizó teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

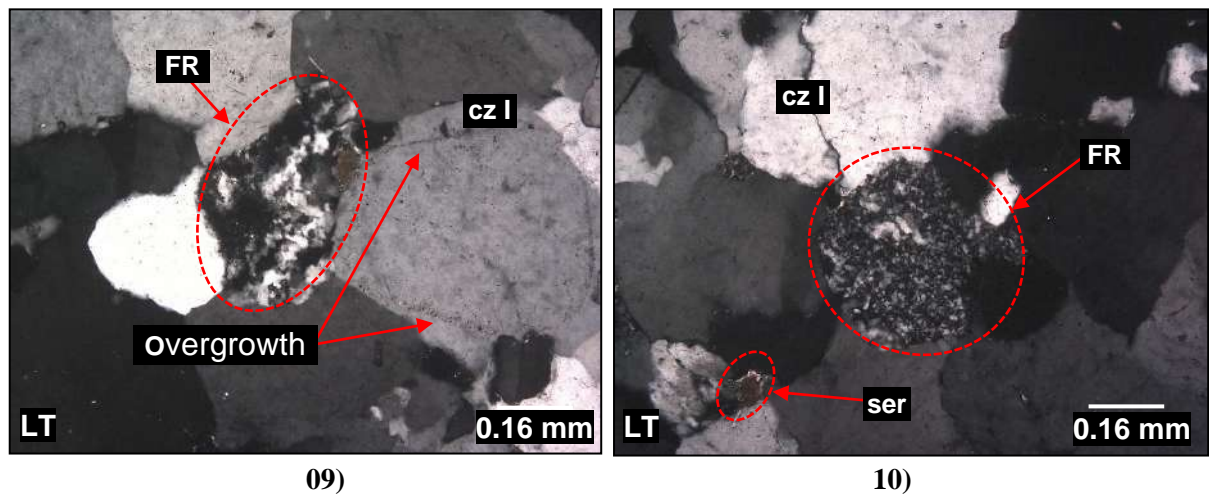
- Parámetros del grado de alteración o intensidad: Incipiente (Trazas: < 1%). Débil (1-11%). Moderada (12-49%). Fuerte (>50%)
- El Tipo de alteración hidrotermal esta dado en orden por relación temporal.
- La asociación de minerales está dada por orden de abundancia e intensidad y no por relación temporal.

d) Secciones delgadas de la muestra M - 10



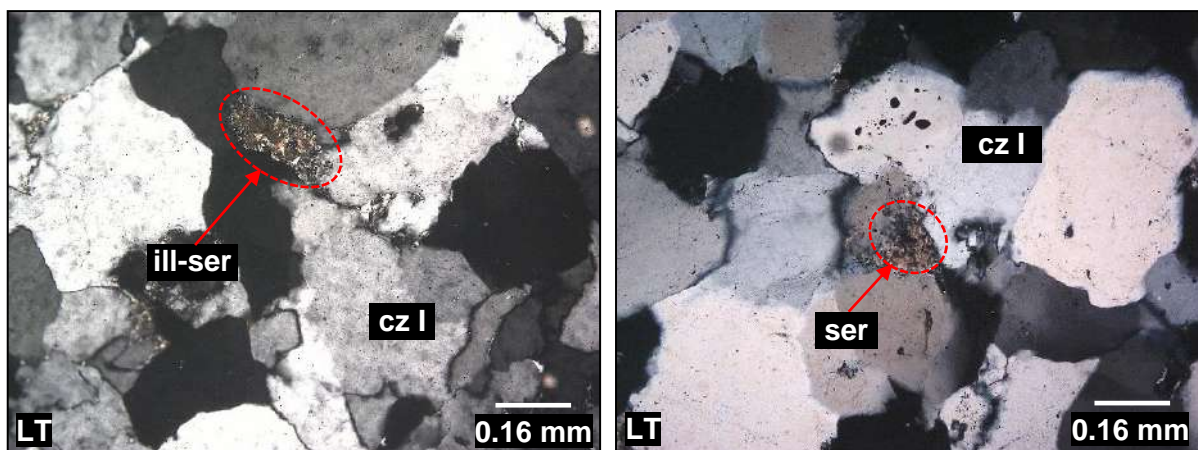
Fotomicrografías 7 a 8.- 07) Granos de cuarzo monocristalino – cz I (86.5%) pobremente clasificados, de bordes sinuosos e irregulares, con algunos cristales de extinción recta a ondulante. En la zona central se muestra un cristal irregular de epidota – ep (< 0.5%) incluido en cuarzo I (cz I) y en la parte inferior derecha un fragmento silicificado – FL (1%). 08) En la parte central se muestra un cristal subhedral de zircón – zir (0.5%) incluido en cuarzo I (cz I), asimismo, se deja notar sericita – ser (6%).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).



Fotomicrografías 09 a 10.- 09) y 10) Clastos subhedrales de fragmentos de rocas – FR (1%) con formas subredondeadas de textura granoblástica que se encuentra reemplazada por sílice y tiene presencia de parches de sericita – ser (6%) y teñidas por óxido de hierro.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

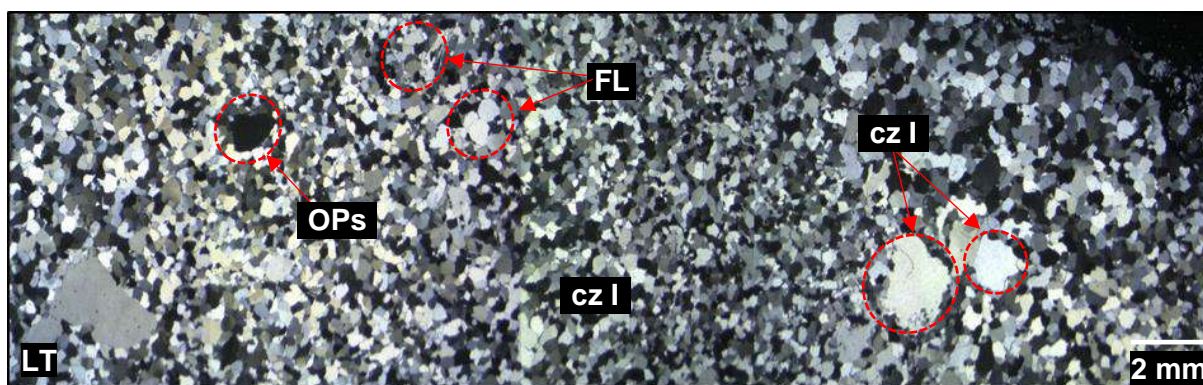


11)

12)

Fotomicrografías 11 a 12.- 11) y 12) Agregados de illita-sericita (ill-ser) en cantidades de 6% ocupando intersticios de detritos de cristales de cuarzo I - cz I (86.5%). El cuarzo presenta bordes sinuosos e irregulares; mostrando indentaciones producto de la compactación. Su esfericidad es baja a media y están pobremente redondeados. Algunos cristales presentan extinción recta a ondulante.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).



13)

Fotomicrografía 13.- Foto panorámica en donde se puede observar los detritos de cuarzo I - cz I (86.5%), con diseminación de minerales opacos - OPs (1%), y presencia de fragmentos líticos silicificados – FL (1%). Los detritos están recrystalizados, a nivel general se deja notar los bordes sinuosos con contactos concavo-convexos.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

4.1.1.3. Caracterización petrográfica de la muestra M – 17

a) Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M - 17

Roca sedimentaria recristalizada de color gris claro, con tonalidades anaranjados debido a la presencia de óxidos de hierro. Se puede observar la presencia de algunas fracturas y también mineralización de opacos, sobre todo sulfuros de hierro (pirita). Es de densidad media a baja, no efervesce al contacto con el ácido clorhídrico (HCl) y tampoco presenta magnetismo.

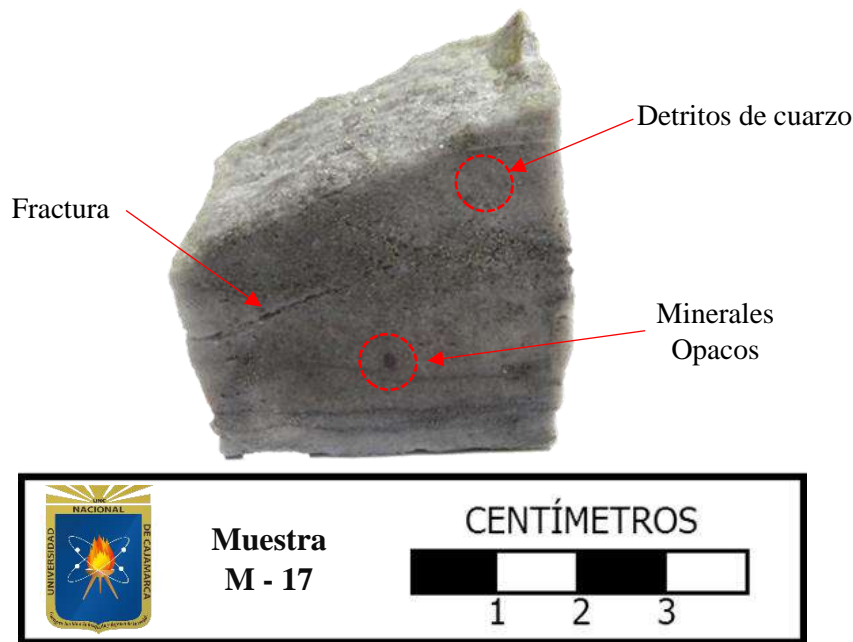


Figura 24. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M – 17

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

b) Descripción petrográfica microscópica de la muestra M – 17

Roca sedimentaria con textura clástica, constituida por agregados detríticos de cuarzo I, y aislados fragmentos líticos, pobremente sorteados con moderado grado de recristalización y con extinción ondulante. Algunas zonas presentan puntos triples. La matriz / cemento es escasa y está constituida por agregados criptocristalinos de cuarzo II, con impregnaciones de illita-sericita ocupando intersticios. Presenta disseminaciones de minerales opacos (pirita) en toda la roca.

c) Descripción mineralógica

La descripción mineralógica de la muestra M – 17, además de sus componentes principales, expone un 15 por ciento de minerales opacos correspondientes a sulfuros de hierro

(Tabla 28), estos datos corroboran la información de Quispe y López (2014), sobre el emplazamiento del stock intrusivo del Cerro San Cirilo, ligado a la mineralización, el cual ha alterado las rocas hospedantes (areniscas de la Formación Farrat).

Tabla 22. Descripción mineralógica microscópica de la muestra M - 17

| | MINERALES | TAMAÑO (mm) | % |
|------------------|--|----------------|-------|
| DETRITOS | Cuarzo I. Se trata de agregados subhedrales a anhedrales con bordes rectos a sinuosos que presentan una esfericidad subredondeadas y subangulosas que se encuentran algunos con extinción recta a ondulante. | < 2 | 71.5 |
| | Fragmento silicificado (FL I). Se encuentra con formas subredondeadas de textura granoblástica que se encuentra reemplazada por sílice y tiene presencia de parches de sericita y teñidas por óxido de hierro. | < 1.2 | 1 |
| | Epidota. Se presenta como agregados xenomorfos que se encuentra incluidos en los cristales de cuarzo. | < 0.08 | Traza |
| ACCESO RIOS | Rutilo. Agregados granulares que se encuentran diseminados en la matriz y cemento. | < 0.64 | 1 |
| MATRIZ / CEMENTO | Cuarzo II. Presente como agregados microcristalinos a criptocristalinos que esta con la sericita en ciertas partes, y contiene a los detritos de cuarzo I y fragmentos líticos. | < 0.02 | 3 |
| | Sericita – Illita. Agregados microescamosos y fibrosos que se encuentra entre los intersticios de los cristales de cuarzo. | < 0.03 | 7 |
| | Alunita. Se encuentra como cristales subhedrales de hábito prismático. | < 0.13 | Traza |
| | Óxido de hierro. Agregados microcristalinos que se encuentra teñiendo a la sericita – illita de la matriz/cemento. | - | 1 |

| MINERALES | | TAMAÑO (mm) | % |
|-----------------------------|---|------------------------|----------|
| MINERAL S OPACOS | Se presentan como cristales subhedrales a anhedrales con bordes rectos de hábito cúbico que se encuentran diseminada. | < 1 | 15 |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

Tabla 23. Texturas principales y tipo de contacto de la muestra M - 17

| Textura principal | Tipo de contacto |
|------------------------------|------------------------------|
| Clástica, de grano soportado | Suturado y cóncavo - convexo |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

Tabla 24. Tipo de alteración y asociación mineralógica, muestra M - 17.

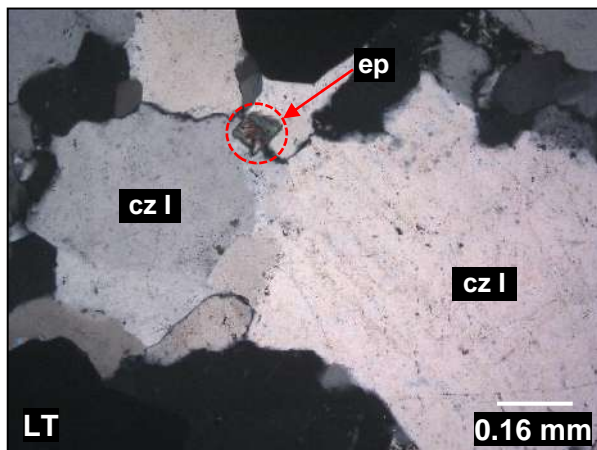
| Tipo de alteración | Estilo | Intensidad | Asoc. Mineralógica |
|---------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|
| Limonitización | Reemplazamiento | Débil | Óxido de Hierro |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

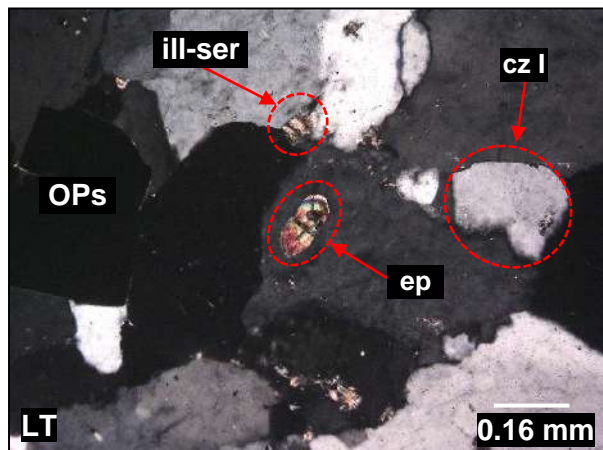
El análisis del tipo de alteración para la muestra M – 17, se realizó teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Parámetros del grado de alteración o intensidad: Incipiente (Trazas: < 1%). Débil (1-11%). Moderada (12-49%). Fuerte (>50%)
- El Tipo de alteración hidrotermal esta dado en orden por relación temporal.
- La asociación de minerales está dada por orden de abundancia e intensidad.

d) Secciones delgadas de la muestra M – 17

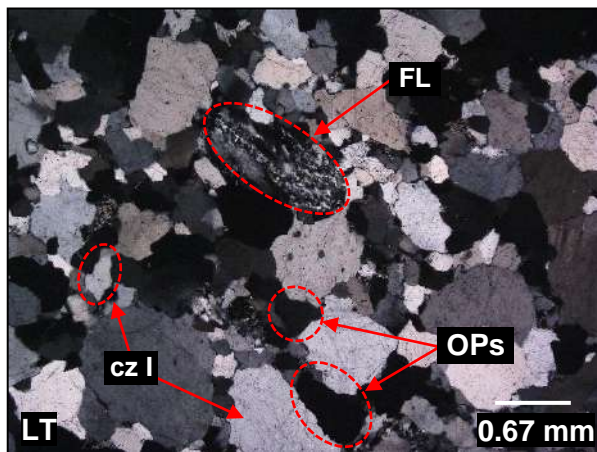


14)

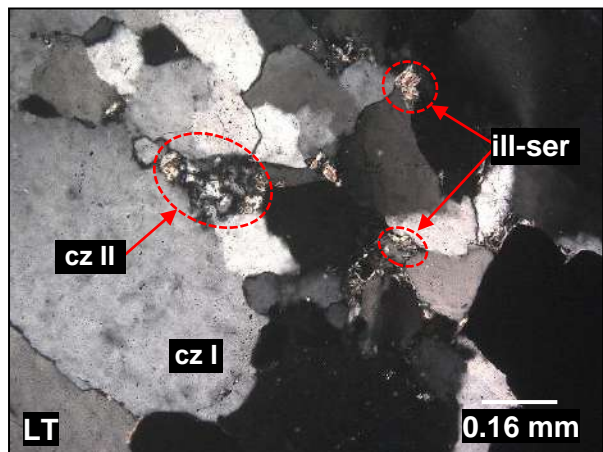


15)

Fotomicrografías 14 a 15.- 14) Cuarzo monocristalino – cz (71.5%) subhedral a anhedral con bordes rectos a sinuosos que presentan una esfericidad subredondeadas y subangulosas, asimismo, se deja notar un cristal subhedral de epidota – ep (< 0.5%) en el cuarzo I (cz I). 15) Cuarzo (cz I) con incrustación de epidota y presencia de sericita – illita (ser-ill) (7%) en los intersticios. Nótese contactos suturados y concavos-convexos, además minerales opacos diseminados. Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

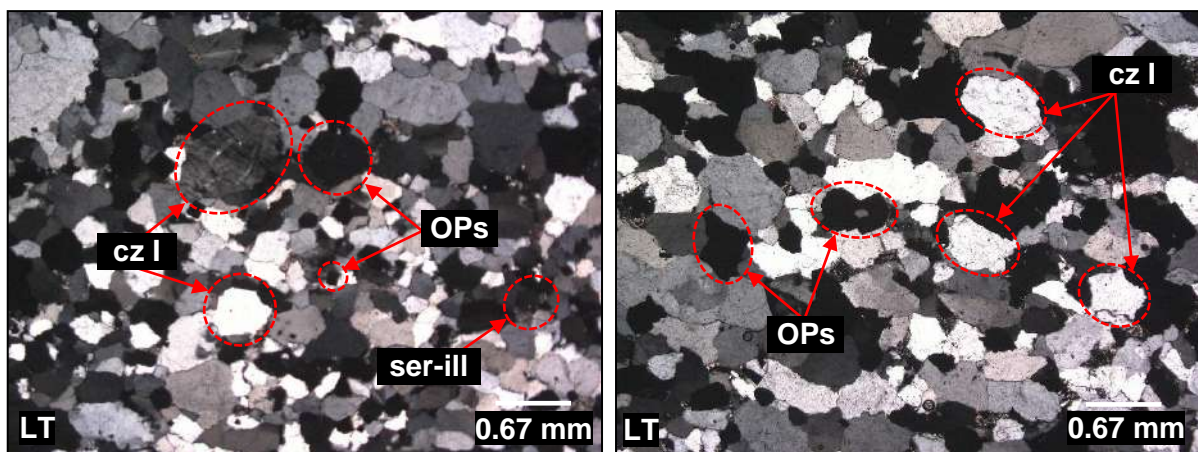


16)



17)

Fotomicrografías 16 a 17.- 16) Presencia de fragmento lítico silicificado – FL (1%), con formas subredondeadas de textura granoblástica que se encuentra reemplazada por sílice y tiene presencia de parches de sericita y teñidas por óxido de hierro, asimismo se muestran minerales opacos – OPs (15%) diseminados. 17) Presencia de cristales de cuarzo policristalino - cz II (3%) y agregados microfibrosos de Illita-Sericita (ill-ser) (7%) en los intersticios del cuarzo I - cz I (71.5%). Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

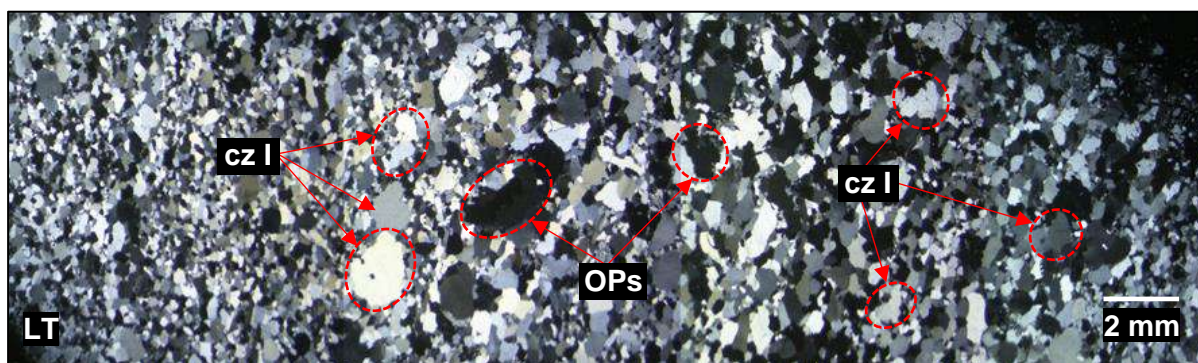


18)

19)

Fotomicrograffías 18 a 19.- 18 y 19) Presencia de cristales de cuarzo I - cz I (71.5%) con disseminación de minerales opacos – OPs (15%), y arcillas de sericita – Illita como matriz, relleno intersticios.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).



20)

Fotomicrograffías 20.- Foto panorámica en donde se puede observar los detritos subredondeados de cuarzo I - cz I (75.5%) con contactos suturados y concavo - convexos. Nótese también la cantidad y distribución de minerales opacos – OPs (15%), sulfuros de hierro (pirita).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

4.1.1.4. Caracterización petrográfica de la muestra M – 19

a) Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M – 19

Roca sedimentaria detrítica de grano medio, de coloración gris blanquecina, se observan sectores como bandas discontinuas y subparalelas que presentan coloración naranja a pardo claro debido a la presencia moderada de óxidos de hierro las cuales se distribuye en todo

el ejemplar. Se observan fracturas discontinuas y sinuosas con espesores menores a 0.1 cm. Presenta una densidad media, no presenta magnetismo y no efervece al contacto con el ácido clorhídrico (HCl), por lo que se puede interpretar que no existe carbonatos de calcio (CaCO_3) en su composición.

La muestra en general, presenta una dureza de 7.0 en la escala de Mohs debido al abundante cuarzo en su composición. De los óxidos de hierro presentes, abunda la limonita distribuida en bandas sub-horizontales.

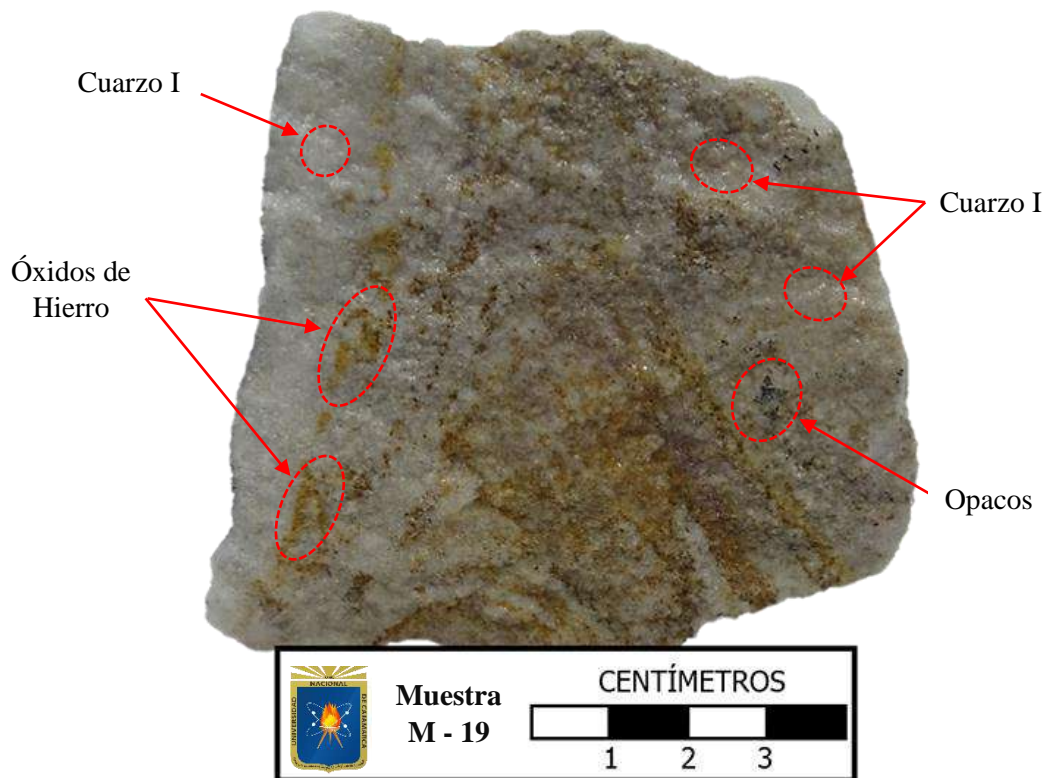


Figura 25. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra M – 19. Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

b) Descripción petrográfica microscópica de la muestra M – 19

Roca sedimentaria que se encuentra conformada por detritos de cuarzo I, elemento que domina la composición con una cantidad del 92 por ciento; presenta una matriz compuesta por cuarzo II criptocrystalino a microcrystalino y agregados de sericita que se distribuyen entre los intersticios de los detritos. Se tiene también minerales pesados, los cuales se presentan como agregados de rutilo y zircones como parte de los detritos primarios, en proporciones menores al 0.5 por ciento (traza), los minerales secundarios que se observan son los minerales arcillosos

que acompañan a la sericita y los óxidos de hierro que se encuentran tiñendo detritos y a la matriz en todo el ejemplar.

Presenta también fracturas discontinuas con avertura menor a 2 mm., que se encuentran rellenas por sericita, minerales arcillosos y óxidos de hierro, principalmente limonita (representando el 2 por ciento del total).

c) Descripción mineralógica

Tabla 25. Descripción mineralógica microscópica de la muestra M - 19

| | MINERALES | TAMAÑO (mm) | % |
|-------------------------|--|----------------|-------|
| DETRITOS | Cuarzo I. Expuestos como agregados anhedrales con bordes irregulares y agregados subhedrales de bordes rectos, se encuentran presentando extinción recta a ondulante y se pueden observar por distintas zonas puntos triples. Se observa también que presenta una moderada a buena clasificación con detritos que llegan a medir aproximadamente hasta 1mm. | < 0.4 | 92 |
| | Zircón. Se exponen como granos subhedrales de bordes subredondeados que se encuentra como inclusión en los detritos de cuarzo. | < 0.08 | Traza |
| | Rutilo. Expuestos como agregados de cristales anhedrales a subhedrales que se encuentra dispersado sobre los detritos. | < 0.05 | Traza |
| MATRIZ / CEMENTO | Cuarzo II. Expuestos como cristales microcristalinos a criptocristalino que se encuentra como matriz y entre los detritos de cuarzo I junto a la sericita. | < 0.035 | 1.5 |
| | Sericita. Expuestas como agregados fibrosos que se encuentran entre los detritos de cuarzo I, se observa también que algunos sectores se encuentran teñidos por óxido de hierro. Están rellenando fracturas discontinuas con pátinas de óxidos de hierro. | < 0.025 | 3.5 |

| MINERALES | TAMAÑO (mm) | % |
|--|------------------------|----------|
| Minerales Arcillosos. | | |
| Se exponen como agregados fibrosos y microcristalinos que se encuentra en los intersticios de los detritos, se presenta junto a la sericita. | < 0.01 | 0.5 |
| Óxido de hierro. | | |
| Se exponen como agregados microcristalinos a terroso que se encuentra presente como cemento en intersticios de los detritos, también se encuentran sobre estos últimos tiñendo distintas zonas del ejemplar. | < 0.2 | 2 |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

Tabla 26. Texturas principales y tipo de contacto de la muestra M - 19

| Textura principal | Tipo de contacto |
|------------------------------|------------------------------|
| Clástica, de grano soportado | Suturado y cóncavo - convexo |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

Tabla 27. Tipo de alteración y asociación mineralógica, muestra M - 19.

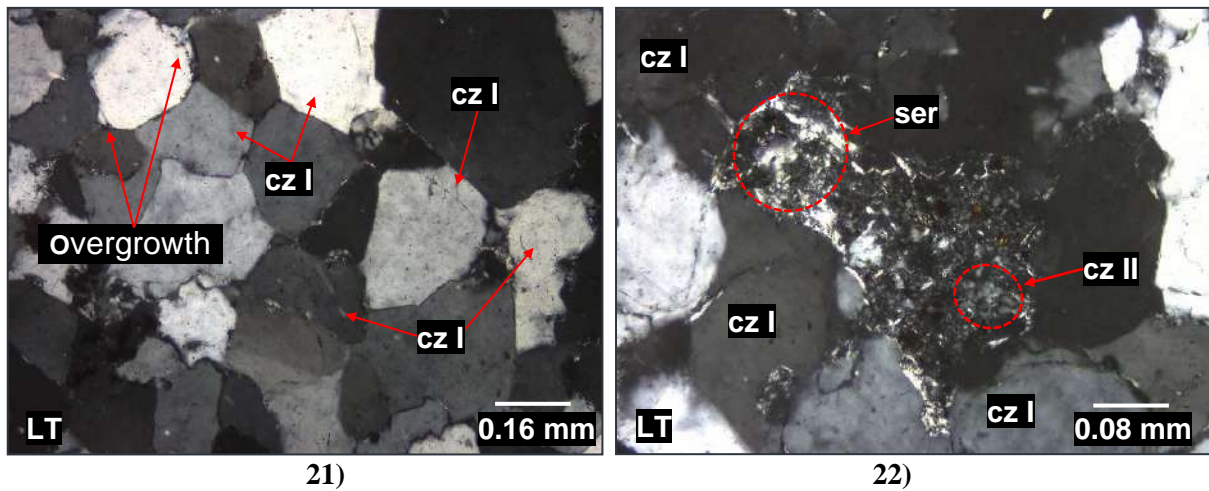
| Tipo de Alteración | Estilo | Intensidad | Asociación mineralógica |
|---------------------------|---------------|-------------------|--------------------------------|
| Limonitización | Penetrativa | Débil | Limonitas |

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

El análisis del tipo de alteración para la muestra M – 19, se realizó teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

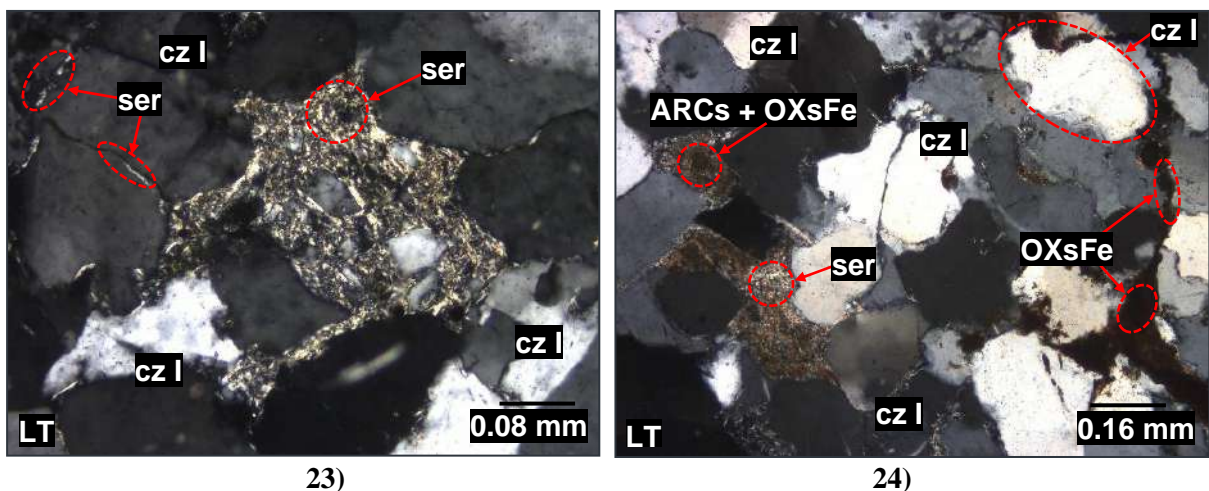
- Parámetros del grado de alteración o intensidad: Incipiente (Trazas: < 1%). Débil (1-11%). Moderada (12-49%). Fuerte (>50%)
- El Tipo de alteración hidrotermal esta dado en orden por relación temporal.
- La asociación de minerales está dada por orden de abundancia e intensidad y no por relación temporal.

d) Secciones delgadas de la muestra M – 19

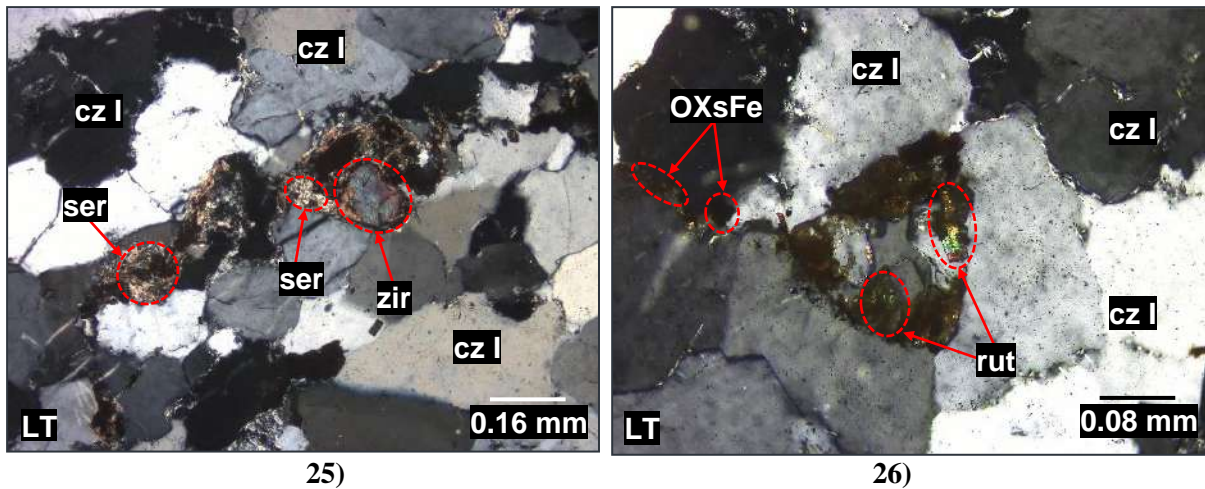


Fotomicrografías 21 a 22.- 21) Se observa cristales anhedrales de bordes irregulares y subhedrales de bordes rectos de cuarzo I - cz I (92%), con extinción recta a ondulante y moderada clasificación, asimismo presentan contactos suturados (parte inferior derecha) y cóncavo-convexos (parte superior izquierda). 22) Se observa como matriz a los agregados microcristalinos de cuarzo II - cz II (1.5%) junto a sericita – ser (3.5%) entre los detritos de cuarzo I (cz I).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).



Fotomicrografías 23 a 24.- 23) Se observa sericita – ser (3.5%) fibrosa como parte de la matriz entre los intersticios de cuarzo I - cz I (92%); 24) Se presenta sericita (ser) con minerales arcillosos – ARCs (0.5%) entre los intersticios de cuarzo I (cz I) siendo teñidos por Óxidos de Hierro – OxsFe (2%). Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).



Fotomicrografías 25 a 26.- 25) Fractura rellena por sericita – ser (3.5%) y óxidos de hierro – OxsFe (2%), también se observa cristal subhedral de zircón – zir (< 0.5%). 26) Agregados de cristales anhedrales y subhedrales de rutilo – rut (< 0.5%). En ambas fotomicrografías, el cuarzo - cz I (92%) es anhedral con bordes irregulares.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2023).

4.1.2. Clasificación de Areniscas

La clasificación de areniscas se realizó según el diagrama triangular de Pettijohn (1987), sobre la base de tres componentes minerales, es decir, a partir de los resultados en el contenido promedio de cuarzo (Q), feldespatos (F), y fragmentos líticos (L) mostrados en secciones delgadas. Para tal fin se analizaron en total 4 secciones delgadas (muestra M – 06, muestra M – 10, muestra M – 17 y muestra M – 19) de los 22 ejemplares de mano, tal como se muestra en el apartado de caracterización petrográfica. Los resultados de los componentes QFL, han sido obtenidos teniendo en cuenta que la cantidad de estos tres componentes, deben totalizar un 100 % (Jabbour et al., 2009; basado en Pettijohn, 1987), es decir, el conteo se realizó a partir de la fracción de detritos primarios (granos estructurales) excluyendo la matriz, cemento, minerales accesorios, opacos y minerales secundarios.

El procedimiento para el cálculo de los porcentajes de clasificación de cada muestra se ha desarrollado de la siguiente manera:

Primeramente, en base a las tablas de cantidad porcentual N° 16, 19, 22 y 25 emitidas por el laboratorio Mine Metallurgy S.A.C., (2023), se obtiene la sumatoria de los tres componentes minerales QFL para cada muestra, como sigue;

$$\text{TOTAL (QFL)} = \sum Q(\%) + F(\%) + L(\%)$$

De lo anterior, se obtiene la tabla 28, con la sumatoria total de los componentes QFL, para cada muestra.

Tabla 28. Sumatoria de porcentajes de cada componente para las cuatro muestras

| COMPONENTES | | MUESTRAS | | | |
|------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | M - 06 | M - 10 | M - 17 | M - 19 |
| Componentes QFL | Cuarzo (% Q) | 88.00 | 86.50 | 71.50 | 92.00 |
| | Feldespatos (% F) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Fragmentos líticos (% L) | 0.10 | 1.00 | 1.00 | 0.10 |
| | TOTAL | 88.1 | 87.5 | 72.5 | 92.1 |

El resultado de la suma total para cada componente mostrados en la tabla 28, representa el 100 % de granos estructurales de cada muestra (siguiendo la temática de Pettijohn, 1987); es decir, la cantidad de 88.1% correspondiente a la muestra M – 06, ahora representa el 100% de ésta; así en todas las muestras. A partir de ello, podemos calcular los porcentajes para cada componente, a través de una regla de tres simple. Para finalmente obtener los porcentajes mostrados en la tabla 29.

Tabla 29. Contenido porcentual de cuarzo (Q), feldespatos (F) y líticos (L).

| Muestra | QFL (%) | | | Clasificación | Unidad Litoestratigráfica |
|---------|---------|---|------|---------------|---------------------------|
| | Q | F | L | | |
| M – 06 | 99.90 | 0 | 0.10 | Cuarzoarenita | Farrat Superior |
| M – 10 | 98.86 | 0 | 1.14 | Cuarzoarenita | Farrat medio |
| M – 17 | 98.62 | 0 | 1.38 | Cuarzoarenita | Farrat Inferior |
| M – 19 | 99.90 | 0 | 0.10 | Cuarzoarenita | |

Los resultados mostrados en la tabla 29, sugieren madurez composicional, pues las muestras en su totalidad, presentan más del 98 % de cuarzo, menos del 2 % de fragmentos líticos, y cantidades nulas de feldespato (0%), lo que las clasifica como cuarzoarenitas, según el diagrama ternario QFL de Pettijohn (1987) (véase figura 26).

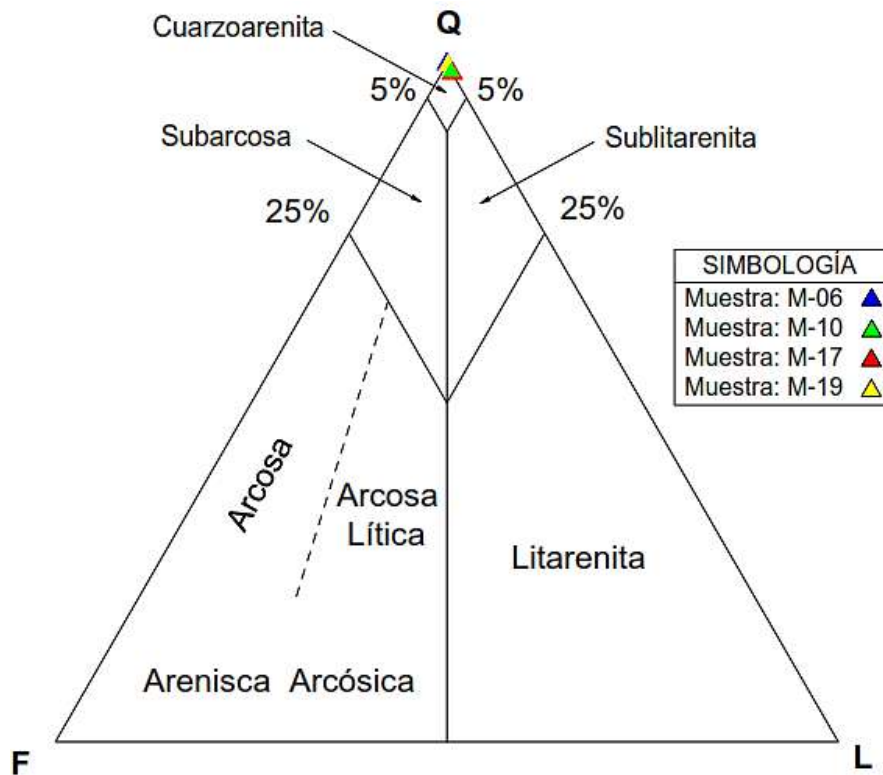


Figura 26. Clasificación de areniscas de la Formación Farrat, en el sector Alto Perú – San Cirilo, según el criterio de Pettijohn (1987).

Los resultados obtenidos a partir de las 4 muestras, en cuanto a su clasificación, determinan que las areniscas presentan alta madurez composicional, el abundante porcentaje de cuarzo, demuestra extensos periodos de retrabajo del sedimento, con lo que todos los demás granos, excepto los cuarzoes, han desaparecido con la abrasión mecánica. Dominan los granos de cuarzo monocristalino con extinción recta, sin embargo, algunos granos también muestran extinción ondulante. Los contactos suturados de sus granos (Fotomicrografías 07, 08, 11 y 15) muestran los efectos de la disolución por presión del cuarzo, produciendo sobrecrecimiento o “overgrowth” de cuarzo (Fotomicrografías 09 y 21).

La matriz, está compuesta por arcillas que progresivamente van recristalizando a sericita (Fotomicrografías 17, 18, 23 y 24), se presenta como agregados microescamosos y fibrosos que rellena intersticios entre los detritos de cuarzo, probablemente se trate de una matriz autógena producto de la alteración de los feldespatos (descrito por Boggs, 2009); el cemento está compuesto de sílice (descrito como Cuarzo II) expuestos como cristales microcristalinos a criptocristalinos.

Entre los minerales pesados, se encuentran el zircón, el rutilo y el apatito como traza, su presencia en las areniscas denotan la gran resistencia a la abrasión mecánica que han tenido

durante la erosión y transporte, contrastando así a lo que Hernández U., (2017) llama areniscas supermaduras, debido al notable contenido de minerales pesados y una cantidad nula de micas.

4.1.3. Procedencia

La procedencia de las areniscas, se ha determinado mediante los diagramas triangulares Qt-F-L y Qm-F-Lt planteados por Dickinson, (1985), a partir del análisis modal, teniendo en cuenta los porcentajes de las diversas combinaciones de granos. Las categorías de grano determinadas, se muestran en la tabla 10.

Los resultados mostrados en la tabla 30 para los diagramas triangulares Qt-F-L y Qm-F-Lt, han sido calculados a partir de los porcentajes obtenidos en las tablas de descripción mineralógica microscópica (Tablas 16, 19, 22 y 25). Cabe resaltar, que el cuarzo monocristalino (Qm) se ha calculado teniendo en cuentas las cantidades de cuarzo I (Qz I), y solamente para la muestra M – 06 se ha sumado la cantidad de cuarzo III (Qz III); asimismo, el cuarzo total (Qt) es el resultado del cuarzo I (cuarzo monocristalino), cuarzo II (cuarzo policristalino) y cuarzo III.

Tabla 30. Cálculo modal y determinación de los porcentajes para los triángulos Qt - F - L y Qm -F - Lt

| Muestra | QtFL (%) | | | QmFLt (%) | | |
|---------|----------|---|------|-----------|---|------|
| | Qt | F | L | Qm | F | Lt |
| M - 06 | 99.90 | 0 | 0.10 | 99.85 | 0 | 0.15 |
| M - 10 | 98.86 | 0 | 1.14 | 98.86 | 0 | 1.14 |
| M - 17 | 98.68 | 0 | 1.32 | 98.62 | 0 | 1.38 |
| M- 19 | 99.90 | 0 | 0.10 | 99.90 | 0 | 0.10 |

Al insertar los datos obtenidos del conteo modal (tabla 30) en el diagrama ternario Qt-F-L los resultados sugieren madurez en los proveniencia de los sedimentos de la Formación Farrat, demostrando extensos periodos de retrabajo del cuarzo (Figura 27). De manera análoga se insertaron los datos en el diagrama ternario Qm-F-Lt, el cual nos indica que estos sedimentos provienen de un Cratón interior, rocas antiguas y muy alejadas de la cuenca, no se observa una tendencia notoria hacia orógeno reciclado (Figura 28).

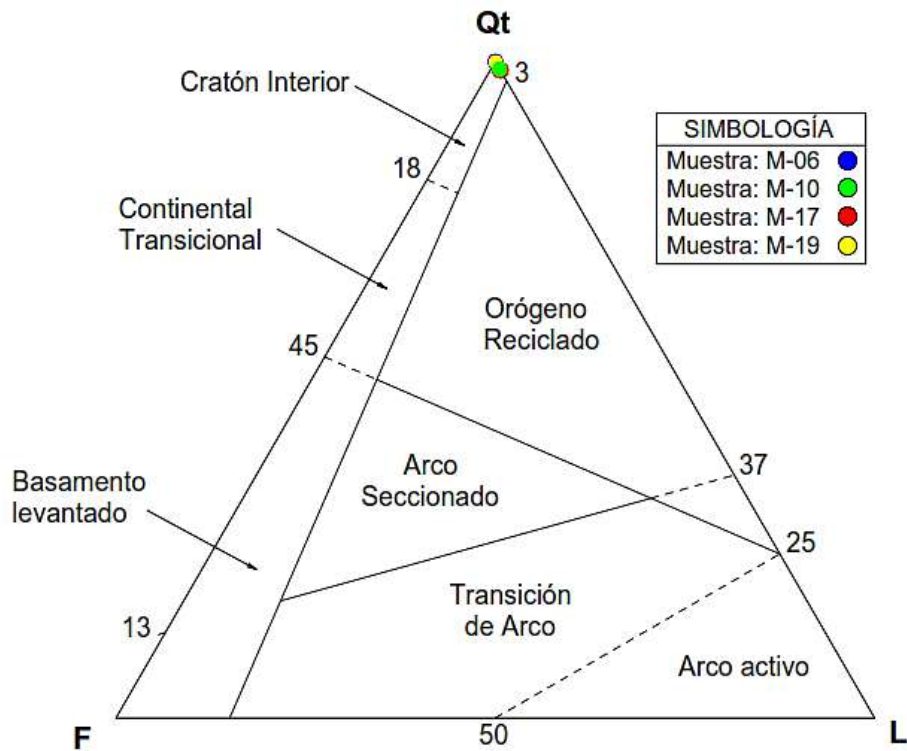


Figura 27. Madurez en la proveniencia del sedimento de las areniscas de la Formación Farrat en el diagrama ternario Qt-F-L planteado por (Dickinson W. R., 1985).

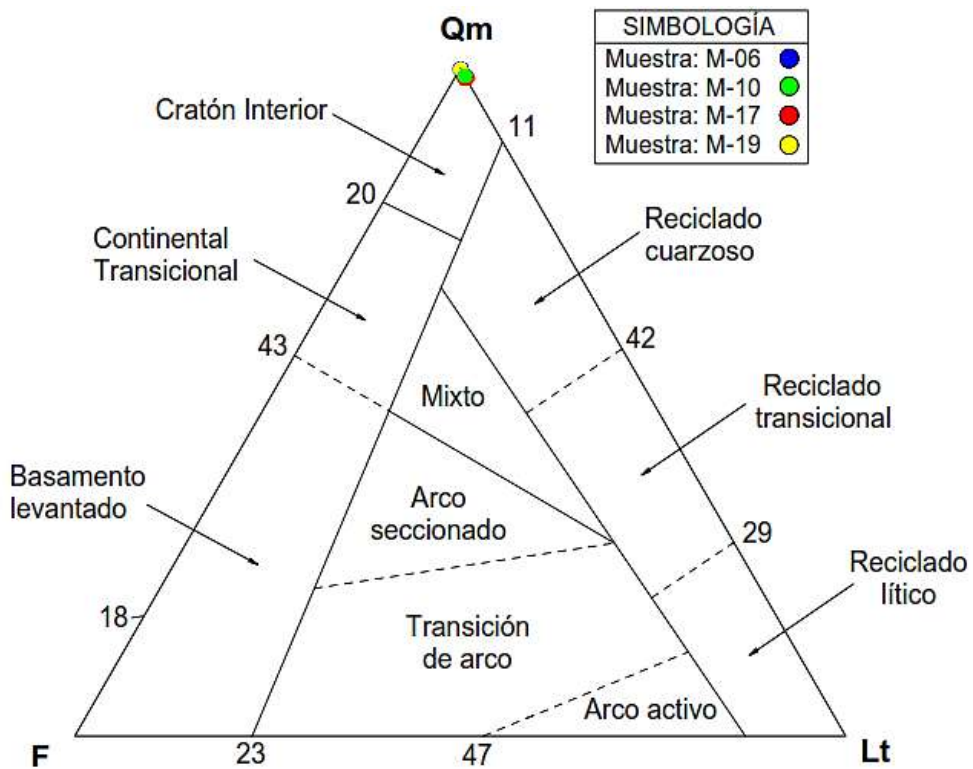


Figura 28. Determinación de la procedencia en función a la composición de las areniscas mediante el diagrama ternario Qm-F-Lt planteado por (Dickinson W. R., 1985).

Los resultados de procedencia obtenidos en los diagramas ternarios de Dickinson, (1985), presentan uniformidad con estudios geocronológicos recientes de proveniencia sedimentaria, realizados con circones detríticos U-Pb, los cuales demuestran que las areniscas del Grupo Goyllarisquizga en el norte del Perú, derivan principalmente del Cratón Brasileño (Erlich et al., 2018; George et al., 2019; Hurtado et al., 2018) (Figura 29).

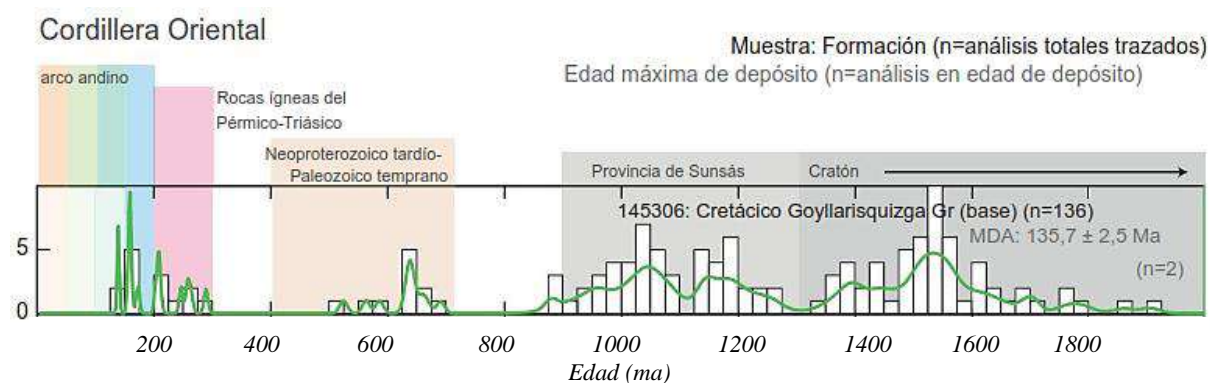


Figura 29. Geocronología de circones detríticos U-Pb del Grupo Goyllarisquizga, el cual muestra que éste deriva del Cratón Brasileño. Muestras tomadas en la cuenca Santiago. Imagen tomada de George et al. (2019).

Los estudios geocronológicos realizados por George et al., (2019), muestra dataciones de las fuentes potenciales de sedimento, entre ellas, las provincias cratónicas precámbricas al este, tal es el caso del Cratón brasileño (2500 - 1300 Ma) y las Provincias de Sunsás (1300 – 900 Ma). Las muestras de areniscas del Grupo Goyllarisquizga, muestra un conjunto diverso de edades de circones detríticos dominados por circones de más de 900 Ma. La abundancia de edades Mesoproterozoica y Paleoproterozoica y composiciones cuarzosas respaldan la derivación primaria desde el Cratón Brasileño y la Provincia de Sunsás.

Para interpretar de manera correcta la proveniencia y posterior depositación de los sedimentos de la Formación Farrat en la cuenca mesozoica occidental, tenemos que remontarnos hasta el titoniano, donde el complejo metamórfico del marañón se encontraba exhumado en el Jurásico Superior (Erlich et al., 2018; George et al., 2019; Hurtado et al., 2018). El macizo del Marañón juega un rol importante en este período, actuando como un límite para la cuenca Subandina y la cueca Mesozoica Occidental en donde se depositó la Formación Chicama. Entonces el aporte sedimentario de esta última, deriva principalmente del complejo metamórfico del Marañón, ya que, en este período, este macizo limitó el ingreso de sedimentos provenientes de regiones cratónicas, debido a que actuó como un alto estructural paleogeográfico (Ver anexo IV, Plano P - 08) (Machaca, 2020).

Posterior a la depositación de la Formación. Chicama, se presenta un escenario de transición, en donde los primeros sedimentos de la Formación Chimú de la cuenca Mesozoica y la Formación Cushabatay de la cuenca Subandina, cubren parcialmente las rocas de la extensión norte del Alto del Marañón, uniendo así la cuenca Sub-andina con la cuenca Mesozoica y dando origen a una extensa cuenca del Cretácico Inferior unificada, dejando disectado al Complejo Metamórfico del Marañón (Machaca, 2020) (Ver anexo IV, Plano P - 09).

Es en este periodo desde el Valanginiano Inferior al Aptiano temprano, donde la topografía fue favorable para dar lugar a extensos ríos entrelazados compuestos de casi exclusivamente depósitos arenosos cuarzosos, los cuales, según Hurtado et al., (2018), acarrearón sedimentos arenosos desde áreas muy distales. Para formar estos ríos entrelazados, fue necesario que la pendiente topográfica se incremente moderadamente, de esta manera la sinuosidad se redujo considerablemente. Este efecto puede ser contrastado con la ocurrencia de grandes movimientos geodinámicos que concuerdan con el levantamiento de la orogenia de Juruá (Vicente, 2014), mencionada orogenia tuvo origen en el Jurásico superior condicionando la paleografía del Cretácico Inferior. Entonces, durante el intervalo de tiempo que va del Valanginiano Inferior al Aptiano Temprano (Cumbre de la Fm. Farrat), la margen occidental en el norte del Perú recibió sedimentos arenosos desde áreas muy distales de proveniencia oriental (Rodríguez, 2022), estamos hablando de rocas del Cratón brasileño (Ver anexo IV, Plano P - 10).

A partir de esta interpretación, podemos entender que los detritos de cuarzo de las areniscas de la Formación Farrat, juntamente con los metales pesados, presentes en su estructura, tales como el zircón, rutilo y apatito (con porcentajes entre el 0.5% hasta el 1.5%) contenidos como parte de los minerales principales (muestra M – 06 y M - 19), o como minerales accesorios (muestra M – 10 y M – 17), tienen origen en rocas ubicadas en el extremo occidental del escudo de Brasil (Cratón Brasileño).

Además de los detritos de cuarzo, los minerales pesados dan información útil sobre la procedencia y eventos en el área fuente, con una densidad por encima de los 2.85 g/cm³ demuestran la estabilidad mineral, durabilidad y la resistencia a la abrasión que han tenido, durante el transporte desde rocas correspondientes a un cratón interior (Tucker, 2003).

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las modas porcentuales de los granos minerales de las 4 muestras de areniscas de la Formación Farrat, nos indican un elevado contenido de cuarzo, con valores mayores al 98 %, contenidos menores de fragmentos líticos, en una proporción menor al 2 %, y cantidades nulas de feldespatos (0%), estos valores las clasifican como cuarzoarenitas. Además del cuarzo, feldespatos y fragmentos lítico, las láminas delgadas muestran metales pesados tales como el zircón, el rutilo y el apatito, como parte de los componentes principales (presentes como elementos traza, en las muestras M – 06 y M – 10, en proporciones menores al 0.5 por ciento), y también como minerales accesorios (en proporciones de 0.5 a 1.5 por ciento, muestras M – 17 y M – 19). Son mineralógica y texturalmente supermaduras; con moderada clasificación. Los detritos presentan una esfericidad media, el redondeamiento de los granos es difícil de evaluar ya que la compactación y la cementación ocultan la forma de los granos originales, los contactos intergranulares son generalmente suturados (Fotomicrografías 07, 08, 11 y 15), estos muestran los efectos de la disolución por presión del cuarzo, produciendo sobrecrecimiento o “overgrowth” de cuarzo (Fotomicrografía 09 y 21). La matriz está compuesta de agregados criptocristalinos y microcristalinos de cuarzo II (de 1 a 3 por ciento) y arcillas que progresivamente van recristalizando a sericita (en cantidades desde 2.5 a 7 por ciento), además de óxidos de hierro como traza (menos del 0.5 por ciento), rellenan intersticios entre los granos de cuarzo monocristalino (Mine Metallurgy S.A.C., 2023).

En base a su composición se ha determinado que las cuarzoarenitas de la Formación Farrat, se han formado a partir de sedimentos detríticos retrabajados, muy resistentes a la abrasión mecánica, provenientes de Cratón Interior, estos resultados se han contrastado con estudios geocronológicos de proveniencia sedimentaria realizados con circones detríticos U-Pb, realizados por (Erlich et al., 2018; George et al., 2019; Hurtado et al., 2018), los cuales demuestran que las areniscas del Grupo Goyllarisquizga en el norte del Perú, derivan principalmente del Cratón Brasileño.

Por lo tanto, en base a las 4 muestras analizadas por microscopía, las areniscas de la Formación Farrat en la zona de Alto Perú – San Cirilo, son cuarzoarenitas formadas a partir de sedimentos arenosos cuarzosos provenientes de un Cratón Interior, probablemente se trate del Cratón Brasileño.

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las areniscas de la Formación Farrat en la zona Alto Perú – San Cirilo, petrográficamente, están constituidas principalmente por cuarzo, con cantidades mayores al 98 %, contenidos menores de fragmentos líticos, en una proporción menor al 2 % y cantidades nulas de feldespato (0%), lo que las clasifica como cuarzoarenitas; asimismo, presenta valores menores al 15 % de matriz y cemento, el cemento está compuesto por agregados criptocristalinos y microcristalinos de cuarzo II (policristalino), mientras que la matriz presenta arcillas que progresivamente van recristalizando a sericita, esta última probablemente se trate de una matriz autógena producto de la alteración de los feldespatos. La ausencia de granos de feldespatos y alto contenido de cuarzo las coloca en el extremo del componente Cuarzo (Q) de los diagramas triangulares Qt-F-L y Qm-F-Lt plantado por Dickinson W. R., (1985), los resultados del primero, indicaría madurez en la proveniencia del sedimento, ya que han sufrido múltiple reciclaje, demostrando extensos periodos de retrabajo del sedimento, con lo que todos lo demás granos, excepto los cuarzos, han desaparecido con la abrasión mecánica; mientras que el segundo diagrama, indicaría que las areniscas de esta Formación proceden de un cratón interior, y según estudios realizados por (Erlich et al., 2018; George et al., 2019; Hurtado et al., 2018) las areniscas del Grupo Goyllarisquizga en el norte del Perú y específicamente de la Formación Farrat derivan desde áreas muy distales de proveniencia oriental, posiblemente se trate de rocas del Cratón brasileño.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Las areniscas de la Formación Farrat, están conformadas principalmente por agregados detríticos monocristalinos de cuarzo I, lo que las constituye como areniscas supermaduras. La matriz y cemento están constituidos por agregados criptocristalinos de cuarzo II, con impregnaciones de arcillas que progresivamente van recristalizando a sericita ocupando intersticios; contiene minerales pesados, tales como zircón, rutilo y apatito. Los detritos presentan formas subangulosas y bordes suturados y contactos concavo-convexos, se muestran deformados mostrando extinción recta a ondulante.

La caracterización petrográfica composicional, reveló que las areniscas están constituidas por más del 98 % de granos de cuarzo, contenidos menores de fragmentos líticos, en una proporción menor al 2 % y cantidades nulas de feldespatos. La matriz y cemento, se presentan en cantidades menores al 15 por ciento, entre arcillas, cuarzo policristalino y óxidos de hierro. Además, presentan metales pesados tales como el zircón, rutilo y apatito en cantidades entre 0.5 % a 1.5 %. Éstos últimos, al igual que el cuarzo, demuestran extensos periodos de retrabajo del sedimento, con lo que todos los demás granos, excepto los cuarzos y minerales pesados, han desaparecido con la abrasión mecánica durante el transporte.

El análisis mediante secciones delgadas, muestra que, de los granos estructurales primarios, el cuarzo, domina la composición modal, por lo que las areniscas de la Formación Farrat en la zona Alto Perú – San Cirilo, han sido clasificadas como Cuarzoarenitas o arenitas de cuarzo. Asimismo, la matriz se presenta en cantidades menores al 15 por ciento.

La procedencia de los sedimentos que conforman las areniscas de la Formación Farrat según los diagramas triangulares Qt-F-L y Qm-F-Lt planteados por Dickinson, (1985), sugieren que los sedimentos que forman las areniscas, derivan de un cratón interior, ya que demuestran madurez composicional y extensos periodos de retrabajo, posiblemente se trate del Cratón Brasileño.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar análisis microscópico de una mayor cantidad de muestras de toda la unidad, debido al gran espesor que tiene la Formación Farrat

Para el análisis de proveniencia sedimentaria, realizar estudios geocronológicos de minerales densos (circón, rutilo, apatito), sobre todo de circones detríticos U-Pb, debido a que la asociación de estos minerales densos permite diagnosticar algunas áreas fuentes específicas, para contribuir al conocimiento de la evolución tectónica de la cuenca.

Se recomienda a la comunidad de investigadores interesados en la línea de petrografía y petromineralogía, realizar sus estudios microscópicos en los laboratorios de la Universidad Nacional de Cajamarca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, A., Mackenzie, W., & Guilford, C. (1997). Atlas de rocas sedimentarias. Barcelona - España: MASSON.
- Adewumi, M. (2016). Sistemas Ternarios. Libre Texts Español, 3.
- Alonso, A. (2013). La Petrología Sedimentaria: desde Sorby a la globalización de la Geología Sedimentaria. Madrid - España: Universidad Complutense de Madrid.
- Alonzo, A. (2010). Petrología sedimentaria. Rocas detríticas - Componentes y caracterización de los distintos tipos. Madrid - España: Departamento de Petrología y Geoquímica - Universidad Complutense de Madrid.
- Arribas, J. (2010). Análisis de procedencia en depósitos arenosos. En Sedimentología del proceso físico de la cuenca sedimentaria (Editado por Alfredo Arche). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Bacelle, L., & Bocellini, A. (1965). Diagrama para la estimación visual de la composición porcentual en rocas sedimentarias. Italia: Universidad de Ferrara - Emilia Romagna.
- Basu, A., Young, S., Suttner, L., James, W., & Mack, G. (1975). Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *J. Sed.*
- Bates, R. L., & Jackson, J. A. (1980). Glossary of Geology. Instituto Geológico Estadounidense.
- Bazán, O. (2016). Evolución Geotectónica de la Deflexión de Cajamarca y su implicancia en la metalogenia del Perú. Lima: Sociedad Geológica del Perú - XVIII Congreso Peruano de Geología.
- Benavides, V. (1999). Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean cycle. Society of Economic Geologists, Special Publication 7.
- Blair, T. C., & McPherson, J. G. (1999). Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. Australia: Journal of sedimentary Research.
- Blatt, H. (1982). Petrología sedimentaria. San Francisco: W. H. Freeman.
- Boggs, S. (2009). Petrology of Sedimentary Rocks. Cambridge: Cambridge University Press.

- Cabanillas, L. (2017). Estudio Petro - mineralógico para determinar ocurrencia de mineralización en la zona de Sapuc, distrito de la Asunción, Cajamarca. Cajamarca: Tesis Profesional - Universidad Nacional de Cajamarca.
- Castro, A. (1989). Petrografía básica: texturas, clasificación y nomenclatura de rocas. Madrid: Paraninfo.
- Cordani, U., Teixeira, W., D'Agrella, M., & Trindade, R. (2009). The position of the Amazonian Craton in supercontinents. *Gondwana Research*.
- Dickinson, W. R. (1985). Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In *Provenance of arenites*. Dordrecht: Reidel.
- Dickinson, W., & Suczek, C. (1979). Plate Tectonics and Sandstone Compositions. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*.
- Enríquez, J., Rodríguez, O., & Rodríguez, R. (2000). Características estructurales y estratigráficas de los yacimientos epitermales de baja sulfuración en el corredor estructural San Pablo – Porculla. Lima - Perú: XIII Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú.
- Erlich, R., Fallon, J., & O'Sullivan, P. (2018). Stratigraphy and LA-ICP-MS Zircon U-PB Provenance of middle Permian to Maastrichtian Sandstones from Outcrop and Subsurface Control in the Sub-Andean Basins of Peru. *The American Association of Petroleum Geologists - AAPG*.
- Folk, R. (1980). *Petrology of sedimentary rocks*. Austin - Texas.
- Folk, R. L. (1951). Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *J. Sediment.*
- Folk, R. L. (1968). *Bimodal supermature sandstones*.
- Folk, R. L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin: Hemphill Publishing.
- Franco, M., & Gonzalo, J. (2000). *Taller de Petrología: Enseñanza de la petrología con el microscopio petrográfico*. Salamanca: Catalanes Amb Accés Obert.
- Frigerio, P. (2012). Estudio estratigráfico de procedencia sedimentaria y ambiente tectónico del Paleozoico Inferior del extremo norte del Terreno Precordillera. La Plata: Repositorio institucional de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata.

- Garzanti, E. (2019). Petrographic classification of sand and sandstone. *Earth-Science Reviews*.
- Garzón, C. (2018). Estudio petrográfico y de proveniencia en rocas sedimentarias de los Cerros Orientales en la vía Bogotá-Choachí. Bogotá - Colombia: Facultad de Geociencias - Universidad de Los Andes.
- George, S., Horton, B., Jackson, L., Moreno, F., Carlotto, V., & Garziona, C. (2019). Sediment provenance variations during contrasting Mesozoic-early Cenozoic tectonic regimes of the northern Peruvian Andes and Santiago-Marañón foreland basin. In *Andean Tectonics*. United States: Eseevier. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816009-1.00012-5>
- Gómez, A. (2017). Petrología, geoquímica y diagénesis de sedimentitas y fósiles carbonáticos del jurásico superior - cretácico inferior de las cuencas Neuquina y Austral, Argentina. La Plata, Buenos Aires - Argentina: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA.
- Graton, L., & Fraser, H. (1935). Systematic packing of spheres: with particular relation to porosity and permeability. *The Journal of Geology*.
- Guevara, W. (2020). Disponibilidad hídrica por interconectividad de las lagunas. Caso: Alto Perú - Tumbaden - San Pablo -Cajamarca. Lima - Perú: Universidad Nacional Federico Villareal.
- Gustafson, L., Vidal, C., Pinto, R., & Noble, D. (2004). Porphyry-Epithermal transition, Cajamarca region, Northern Peru. En *Society of Economic Geologists*.
- Gustafson, L., Vidal, C., Pinto., R., & Noble, D. (2004). Porphyry-Epithermal transition, Cajamarca region, Northern Peru. En *Society of Economic Geologists*. Especial Publication N° 11.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la Investigación, las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México: Editorial Mc Graw Hill Education.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación (Quinta Edición ed.). México DF: McGraw Hill.
- Hernández, U. (2017). Manual de prácticas de laboratorio de Petrología Sedimentaria. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Hurtado, C., Roddaz, M., Ventura, R., Baby, P., Antoine, P., & Dantas, E. (2018). Cretaceous-early Paleocene drainage shift of Amazonian rivers driven by Equatorial Atlantic Ocean opening and Andean uplift as deduced from the provenance of northern Peruvian sedimentary rocks (Huallaga basin). *Gondwana Research*.
- Illenberger, W. K. (1991). Pebble shape (and size!). . South Africa: Geology department - University of Port Elizabeth.
- INGEMMET. (2015). Estudio petrográfico de rocas sedimentarias en la localidad Indio Muerto. Indio Muerto, Caravelí - Arequipa: Código de muestra: R14-001.
- Iquiapaza, E., Alván, A., Sánchez, E., & Mamani, M. (2016). Petrología y litogeoquímica sedimentaria del Grupo Yura, en el departamento de Tacna (Cuenca Arequipa). Lima - Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- Jabbour, G., Márquez, R., & Guerra, I. (2009). Un modelo para la clasificación de areniscas. Mérida: *Revista Ciencia e Ingeniería - Universidad de los Andes de Venezuela*.
- Jhuo, J., Jiang, X., Wang, J., Cui, X., Xiong, G., Lu, J., . . . Ma, M. (2013). Opening time and filling pattern of the Neoproterozoic Kangdian Rift Basin, western Yangtze Continent, South China. *China: Science China Earth Sciences*.
- Krynine, P. (1940). Petrology and genesis of the Third Bradford Sand. *Pennsylvania State: College Bulletin*.
- Krynine, P. (1946). The turmaline group in sediments.
- López, M. (2014). Humedales de alta montaña en San Pablo, distrito de Tumbadén, Cajamarca. Chiclayo - Perú.
- Lothari, L., Gómez, R., Tunik, M., & Casadio, S. (2020). Análisis de fasies y petrografía de los depósitos del cretácico superior en el norte de la cuenca neuquina: Implicancias para el inicio de la etapa Forelan. Río Negro - Argentina: *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*.
- Machaca, C. (2020). Asociación de los ambientes depositacionales y proveniencia sedimentaria del grupo Chicama en el norte peruano (7° 30' - 9° 30'). Puno - Perú: Tesis profesional - Universidad Nacional del Altiplano.

- Marenssi, S., Santillana, S., & Bauer, M. (2012). Estratigrafía, petrografía sedimentaria y procedencia de las formaciones Sobral y Cross Valley (Paleoceno), isla Marambio (Seymour), Antártica. Buenos Aires - Argentina: Andean Geology.
- Mexicano, S. G. (22 de Marzo de 2017). Petrografía. Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Petrografia.html>
- Mitouard, P., Laj, C., Mourier, C., & Kissel, C. (1992). Paleomagnetic study of an arcuate fold belt developed on a marginal orogen: The Cajamarca deflection, northern Peru. Earth and planetary Science Letters.
- Moreno, T. (2019). Facies sedimentarias de las formaciones Carhuaz y Farrat en los sectores de San Cirilo, Callacpuma – Chilete. Cajamarca: Tesis Profesional - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.
- Muruaga, C. (2001). Petrografía y procedencia de areniscas terciarias en la Subcuenca de Hualfín, provincia de Catamarca, noroeste de Argentina. Buenos Aires - Argentina: Asociación Argentina de Sedimentología .
- Nichols, G. (2009). Sedimentology and Stratigraphi. Second Edition. Garsington Road, Oxfor: Wiley Blackwell.
- Ojeda, C., & Sánchez, C. (2012). Petrografía, Petrología y análisis de procedencia de unidades paleógenas en las cuencas Cesar-ranchería y Catatumbo. Bucaramanga - Colombia: Boletín de Geología, vol. 35 - Universidad Industrial de Santander.
- Pettijohn, F. J. (1975). Sedimentary Rocks. New York: Harper and Row Publishers.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R. (1987). Sand and Sandstone. New York: Springer - Verlag.
- Pizarro, H. (2021). Estratigrafía y Petrografía de las Areniscas pertenecientes a la Formación San Mateo de la Parroquia Rural Machalilla del Cantón Puerto López, Provincia de Manabí. Guayaquil - Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Powers, M. C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. Journal of Sedimentary Petrology.

- Prado, J. (2018). Estudio petromineralógico de las areniscas de la formación Farrat en la zona de Baños del Inca y Llacanora - Cajamarca. Cajamarca: Tesis profesional - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.
- Quiñones, L., & Guadalupe, E. (2022). Análisis Petrográfico de las areniscas de la Formación Cushabatay. Cuenca Marañón. Pozo Tangarana 1. Loreto. Loreto: Revista del Instituto de investigación de la Facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográficas de la Universidad nacional mayor de San Marcos.
- Quispe, Z., & López, M. (2014). Estudio hidrogeológico de la microcuenca San Cirilo, Cajamarca – Perú. Cajamarca: Tesis profesional - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.
- Rabadá, D. (16 de Noviembre de 2020). Petrología - Microscopio Petrográfico de bajo costo (MPPR). Revista Ciencias de la Tierra, 3. Recuperado el 24 de Marzo de 2023, de <https://revistacienciasdelatierra.com/articulos/geociencias/petrologia/>
- Reyes, L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-g). Lima - Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Rivera, R. (2007). Características metalogénicas de los yacimientos asociados al volcanismo cenozoico (Grupo Calipuy) en el norte del Perú, región Cajamarca. Lima - Perú: INGEMMET.
- Rivera, R., & Santisteban, A. (2008). Control Estructural, Producción y Reservas en las Franjas Metalogénicas del Norte del Perú (Región de Cajamarca). . Lima - Perú: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos de INGEMMET.
- Rodríguez, A. (2022). Caracterización estratigráfica y sedimentológica del cretácico en el distrito la Encañada. Cajamarca.: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Rodríguez, R. (2016). Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo-Corisorgona, Cajamarca - Perú. Lims - Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rodríguez, R. (2018). Impactos geotécnico-ambientales en cabeceras de subcuencas por implantación de Minas Conga, Cajamarca – Perú. Cajamarca - Perú: Tesis doctoral, Universidad Nacional de Cajamarca.

- Schwennicke, T., & Plata, E. (2012). *Manual de Petrología Sedimentaria*. Baja California: Universidad Autónoma de Baja California Sur .
- Schwennicke, T., & Plata, E. (2012). *Manual de Petrología Sedimentaria*. Baja California: Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Sneed, E. E., & Folk, R. L. (1958). *Pebbles in the lower Colorado River, Texas – A study in particle morphogenesis*. Texas: Publicado por: Prensa de la Universidad de Chicago.
- Stappenbeck, R. (1929). *Geologie des Chicamatales in Nordperú und seiner Anthrazitlagerstätten*. Abhandl.
- Supo, J. (2015). *Como Empezar una Tesis*. Arequipa - Perú: Bioestadístico EIRL.
- Tafur, L. (2022). *Petrografía de la formación Chota en el tramo de la carretera PE-3N 1+413Km a 1+410Km del distrito de Chota*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Takano, O., Itoh, Y., & Kusumoto, S. (2013). *Variation in Forearc Basin Configuration and Basin-filling Depositional Systems as a Function of Trench Slope Break Development and Strike-Slip Movement: Examples from the Cenozoic Ishikari–Sanriku-Oki and Tokai-Oki–Kumano-Nada Forearc Basins*. Japón.
- Torres, J., Tumi, J., Samanez, M., & Caycho, Y. (2020). *Mega sistema estructural Cajamarca, configuración estructural sugerida en relación con la mineralización de pórfidos y epitermales en el Norte del Perú*. Lima - Perú: Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM .
- Tucker, M. E. (2003). *Petrología Sedimentaria - Introducción al origen de las rocas sedimentarias*. Valencia: Blackwell Science.
- Vicente, M. (2014). *Juruá Orogeny: Brazil and Andean Countries Orogenia Juruá: Brasil e Países Andinos*. Brazil: Brazilian Journal of Geology.
- Wadell, H. (1936). *Volume, shape and roundness of rock particles*. Chicago: University of Chicago.
- Wang, W., Cawood, P., Pandit, M., Zhou, M., & Zhao, J. (2018). *Evolving passive- and active-margin tectonics of the Paleoproterozoic Aravalli Basin, NW India*. India: GSA Bulletin.

Wentworth, C. K. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. JSTOR, 8.

Wilson, J. (1984). Geología de los cuadrángulos de Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Chiclayo (14-d), Chongoyape (14-e), Chota (14-f), Celendín (14-g), Pacasmayo (15-d), Chepén (15-e). Lima - Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Wilson, J. (2000). Structural development of the Northern Andes of Peru. X Congreso Peruano de Geología.

ANEXOS

ANEXO I – GRÁFICOS Y TABLAS COMPARATIVAS

- A. Gráficos de estimación visual de porcentajes
- B. Tabla comparativa - grado de redondez y esfericidad

ANEXO II - RESULTADOS METALÚRGICOS

- A. Análisis mineralógico en la veta Quebrada Honda - Óxidos
- B. Análisis mineralógico en la veta Quebrada Honda - Sulfuros

ANEXO III – RESULTADOS PETROGRÁFICOS

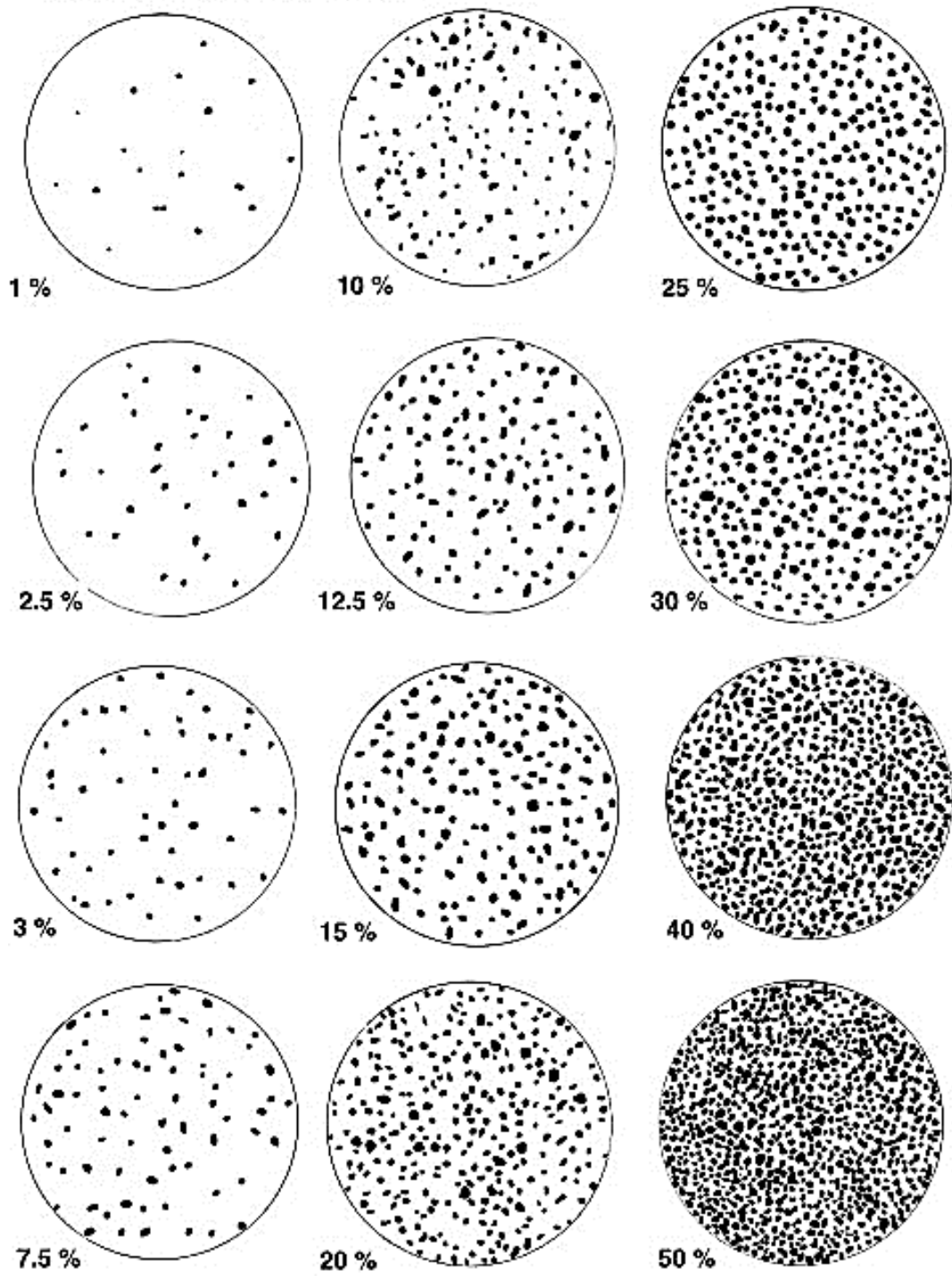
- A. Formatos petrográficos

ANEXO IV – PLANOS

- Plano N° 1 – Plano de Ubicación
- Plano N° 2 – Imagen Satelital
- Plano N° 3 – Modelo Digita de Elevaciones (MDE)
- Plano N° 4 - Plano Geológico
- Plano N° 5 – Plano de muestreo
- Plano N° 6 – Columna estratigráfica local
- Plano N° 7 – Perfil geológico
- Plano N° 8 – Modelo de proveniencia del Titoniano
- Plano N° 9 – Modelo de proveniencia del Valanginiano
- Plano N° 10 – Modelo de proveniencia del Valanginiano – Aptiano

ANEXO I
GRÁFICOS Y TABLAS COMPARATIVAS

A. Gráficos de estimación visual de la composición porcentual en rocas sedimentarias



Fuente: Tomado de Bacelle y Bocellini, (1965)

B. Tabla comparativa para la caracterización del grado de redondez y esfericidad que presenta un grano de arena

| | | Redondeamiento | | | | | |
|--------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| | | MA Muy Anguloso | A Anguloso | SA Sub anguloso | SR Sub redondeado | R Redondeado | BR Bien Redondeado |
| Esfericidad | D Discoidal | | | | | | |
| | SD Subdiscoidal | | | | | | |
| | E Esférico | | | | | | |
| | SP Subprismático | | | | | | |
| | P Prismático | | | | | | |

Fuente: Tomado de Powers, (1953)

ANEXO II
RESULTADOS METALÚRGICOS

- A. Análisis mineralógico en la veta Quebrada Honda - Óxidos
- B. Análisis mineralógico en la veta Quebrada Honda - Sulfuros

INFORME DE ANALISIS QUIMICO

CLIENTE : JUVER LAVADO VALENCIA **Nº COD. 46854**
TIPO DE MUESTRA : MINERAL
IDENTIFIC. DE LA MUESTRA : MUESTRA 1
MUESTRAS RECIBIDAS : 1
DETALLE DEL ENVASE : BOLSA SIN LACRAR
FECHA DE RECEPCIÓN : 12/12/2019
INSTRUCCIÓN DE ANALISIS : TIPO LOTE
METODO ANALÍTICO : VIA SECA
RESULTADOS :

| | |
|---------------------------|---------------|
| Au - ORO (g/tm) | 6.11 |
| Au - ORO (oz/tp) | 0.18 |
| Ag - PLATA (g/tm) | 198.09 |
| Ag - PLATA (oz/tp) | 5.78 |

Fecha de Emisión: 12/12/2019
 *Este informe no debe reproducirse total ni parcial sin autorización escrita de G&S Laboratory SRL.
 *Los resultados de este Certificado solo corresponde a la muestra recibida en nuestra oficina.
 *Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo máximo de 1 mes.



Jefe de Laboratorio
Jefe de Laboratorio
JEFE DE LABORATORIO
CIP. Nº 185126

CERTIFICADO DE ENSAYO QUÍMICO

Empresa / Cliente : Nilton Heiner Cerdán Vásquez
 Cantidad muestras sólidas : 1
 Descripción de muestras : Sulfuro
 Detalle de muestra : Bolsa amarilla, MIN - 01 - P
 Fecha de recepción : 08/07/2020
 Fecha de reporte : 09/07/2020

RESULTADOS

| Método Análisis | | F.A. | | A.A. | | A.A | A.A | A.A |
|--------------------|----------------|------------|---------|--------------|---------|------------|------------|-----------|
| Elementos | | Au (Oro) | | Ag (Plata) | | Cu (Cobre) | Pb (Plomo) | Zn (Zinc) |
| Código Laboratorio | Código Muestra | (gr/TM) | (Oz/TC) | (gr/TM) | (Oz/TC) | % | % | % |
| M 2007149 | MIN - 01 - P | 0.754 | 0.022 | 6.936 | 0.202 | 0.01 | 0.07 | 0.03 |

Método de ensayo:

F.A: Ensayo al Fuego
A.A: Absorción Atómica

LABMIN PERU S.A.C.

Ing. David Hurtado Escamilo
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP 79853

Jueves, 09 de julio del 2020

- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de LAB MIN PERU SAC.
- El presente certificado corresponde a las muestras recibidas en nuestro local.
- Los Remanentes de muestras se almacenaran por un periodo máximo de un mes.

☎ 916713593

✉ mreportes@labminperu.com
msecretaria@labminperu.com

📍 Mza. F-1/Lte. 12 /Urb. Parque Industrial
La Esperanza - Trujillo

ANEXO III
FORMATOS PETROGRÁFICOS

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9238001 |
| N° Muestra: M – 01 | | E: 763289 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemperizada: *Gris amarillento*

Color de sup. Fresca: *Gris oscuro*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *6.5*

Porosidad: *Primaria*

Raya: *Gris*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.25 a 0.5 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*

 Coeficiente: *4.5*

Redondez Grado: *Subanguloso*

 Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Submadura*

Madurez mineralógica: *Madura*

Cemento y/o matriz: *Cuarzo y arcillas*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Fábrica: *Clástica*

% Relativo: Esqueleto: *87%*

Matriz: *7%*

Cemento: *6%*

Grado de consolidación:

Detalle de afloramiento: *Farrat - Superior*

Estructura sedimentaria:

Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial*

Edad: *Barremiano - Aptiano*

Genética Medio Sed.: *Llanura*

Observaciones:

deltaica

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (87%)

- Qz: *90 %*

- Frag. roca (FR): *0.5 %*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *0 %*

- Otros: Bitumen: *9.5 %*

b. Matriz (7%)

- Arcillas: *5 %*

- Ox. de fe: *2 %*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas:

- Fósiles: *No presenta*

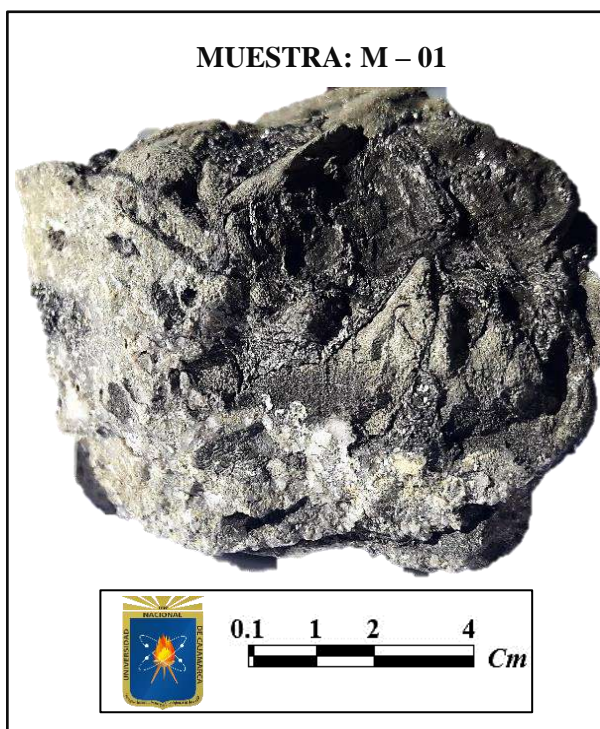
- Otros:

c. Cemento (6%)

- Sílice: *6 %*

- Calcita: *No presenta*

- Otros:



NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita Bituminosa*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR, Feldspatos y bitumen, constituyen el 100% del esqueleto (representa el 87% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz y cemento (13%)*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9238099 |
| N° Muestra: M – 02 | | E: 763362 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemperizada: *Marrón*

Color de sup. Fresca: *Gris claro*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.125 a 0.25 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*

Coficiente: *4*

Redondez Grado: *Subanguloso*

Coficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *90%* Matriz: *8%* Cemento: *2%*

Grado de consolidación: Detalle de afloramiento: *Farrat - Superior*

Estructura sedimentaria: Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial* Edad: *Barremiano - Aptiano*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Observaciones:

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (90%)

- Qz: *98 %*

- Frag. roca (FR): *1.5 %*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *0.5 %*

- Otros:

b. Matriz (8%)

- Arcillas: *6 %*

- Ox. de fe: *2 %*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas:

- Fósiles: *No presenta*

c. Cemento (2%)

- Sílice: *2 %*

- Calcita: *No presenta*

- Otros:



NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita de grano fino*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos, constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 90% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz y cemento (10%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237639 |
| N° Muestra: M – 03 | | E: 763656 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemperizada: *Marrón oscuro*
Color de sup. Fresca: *Amarilla con fragmentos blancos de areniscas cuarzosa*
Brillo: *Vítreo*
Dureza (Mohs): *7.0*
Porosidad: *Primaria y secundaria*
Raya: *Amarilla*
Fractura: *Irregular*
Reacción con HCL: *No reacciona*
Tenacidad: *Moderada*
Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de fragmentos: *Mayor a 2 mm*
Esfericidad Grado: *Subprismático*
 Coeficiente: *2.5*
Redondez Grado: *Anguloso*
 Coeficiente: *2*
Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*
Entramado: *-*
Orientación: *Aleatoria*
Madurez Textural: *Madura*
Madurez mineralógica: *Madura*
Selección: *Mal clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Sílice y óxidos de hierro*
Fábrica: *Clástica de fragmento soportado*

| | | |
|---|--|--------------------|
| % Relativo: Esqueleto: <i>89%</i> | Matriz: <i>9%</i> | Cemento: <i>4%</i> |
| Grado de consolidación: <i>-</i> | Unidad estratigráfica: <i>Fm. Farrat</i> | |
| Estructura sedimentaria: <i>-</i> | Edad: <i>Barremiano - Aptiano</i> | |
| Interpretación Agente: <i>Acción Fluvial</i> | Observaciones: <i>Muestra tomada de falla cortaderas</i> | |
| Genética Medio Sed.: <i>Tectónico</i> | | |

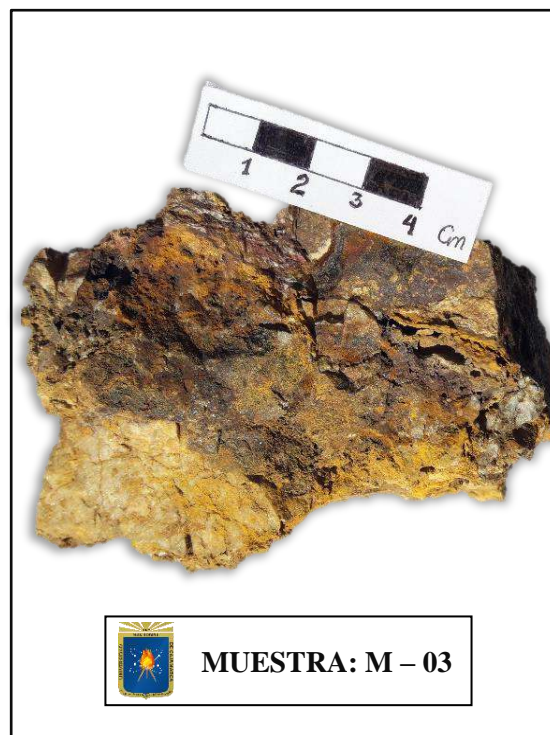
III.- COMPOSICIÓN

| a.- Granos estructurales (89%) | b.- Matriz (7%) | c. Cemento (4%) |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| - Qz: <i>-</i> | - Arcillas: <i>1%</i> | - Silice: <i>4 %</i> |
| - Frag. roca (FR): <i>99 %</i> | - Ox. de fe: <i>6 %</i> | - Calcita: <i>No presenta</i> |
| - Fel. Na-Ca: <i>-</i> | - Ox. de Mn: <i>-</i> | - Otros: |
| - Muscovita: <i>-</i> | - Glauconita | |
| - Feld k: <i>1 %</i> | - Micas | |
| - Otros: | Fósiles: <i>No presenta</i> | |

NOMBRE DE LA ROCA: *Brecha Tectónica*

Observaciones: *Los granos estructurales están constituidos por fragmentos de roca sedimentaria (arenisca), producto de la trituración de las areniscas por la falla cortaderas.*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)



FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237797 |
| N° Muestra: M – 4 | | E: 763386 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemp: *Marrón oscuro*

Color sup. Fresca: *Gris con tonalidades de óxido de hierro*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria y secundaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.5 a 1 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*
 Coeficiente: *4.5*

Redondez Grado: *Subanguloso*
 Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Sílice, arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *90%* Matriz: *4%* Cemento: *5%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Miembro superior de la Fm. Farrat*

Estructura sedimentaria: *-*

Interpretación Agente: *Acción fluvial* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Edad: *Barremiano - Aptiano*

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (90%)

- Qz: *98 %*
- Frag. roca (FR): *1.5 %*
- Fel. Na-Ca: *-*
- Muscovita: *-*
- Feld k: *0.5 %*
- Otros: *-*

b. Matriz (4%)

- Arcillas: *2 %*
- Ox. de fe: *2 %*
- Ox. de Mn: *-*
- Glauconita: *-*
- Micas: *-*
- Otros: *-*

c. Cemento (6%)

- Sílice (Qz): *6 %*
- Calcita: *No presenta*
- Otros:

NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita de grano grueso*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 90% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz y cemento (10%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)



FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237993 |
| N° Muestra: M – 5 | | E: 763730 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca – Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemp: *Anaranjado*

Color sup. Fresca: *Gris claro*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.5 a 1 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*

Coeficiente: *4.5*

Redondez Grado: *Subanguloso*

Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Supermadura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Sílice, arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *92%*

Matriz: *4 %*

Cemento: *4 %*

Grado de consolidación: *-*

Detalle de afloramiento: *Miembro Superior de la Fm. Farrat*

Estructura sedimentaria: *-*

Interpretación Agente: *Acción fluvial*

Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica*

Edad: *Barremiano - Aptiano*

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (92%)

- Qz: *98 %*

- Frag. roca (FR): *1 %*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *1 %*

- Otros: *-*

b. Matriz (4%)

- Arcillas: *3 %*

- Ox. de fe: *1 %*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

- Otros: *-*

c. Cemento (4%)

- Sílice (Qz): *4 %*

- Calcita: *No presenta*

- Otros: *-*



NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita de grano grueso*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 92% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz y cemento (8%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237770 |
| N° Muestra: M – 06 | | E: 763547 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemp.: *Marrón oscura*

Color sup. Fresca: *Gris con bandas de óxidos*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *Menor a 0.36 mm con bandas de grano grueso (0.5 a 1 mm)*

Esfericidad Grado: *Esférico*

 Coeficiente: *4.5*

Redondez Grado: *Subanguloso*

 Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas y óxidos de hierro.*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *88%* Matriz: *11%* Cemento: *1%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Miembro superior de*

Estructura sedimentaria: *-* *la Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Edad: *Barremiano - Aptiano*

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (88%)

- Qz: *99.9%*

- Frag. roca (FR): *0.10%*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *0%*

- Otros: *Rutilo: (traza)*

Zircón: (traza)

b. Matriz (11%)

- Arcillas: *3%*

- Ox. de fe: *8%*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

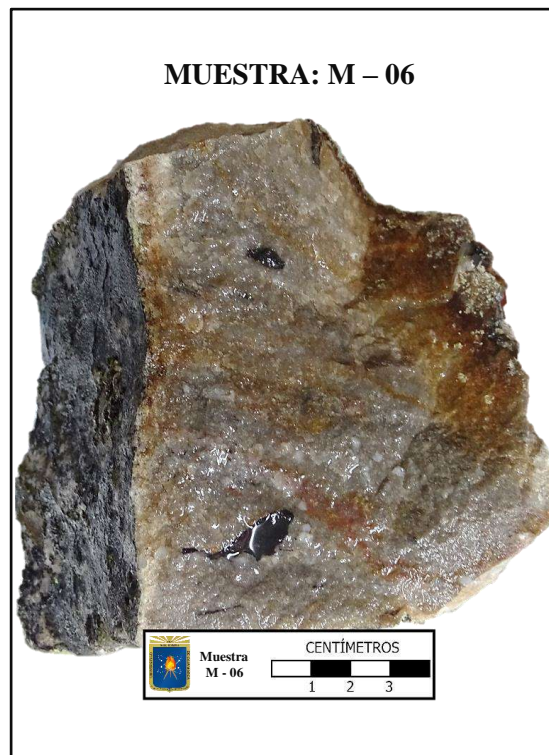
- Fósiles: *No presenta*

c. Cemento (1%)

- Sílice (Qz): *1%*

- Calcita: *No presenta*

- Otros:



NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita de grano medio con bandas de grano grueso*

Observaciones: *La cantidad del 88% de los granos de Qz es la suma del cuarzo de grano medio (58%) más el cuarzo de grano grueso (30%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237351 |
| N° Muestra: M – 07 | | E: 763605 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemperizada: *Marrón claro*

Color de sup. Fresca: *Gris*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria y secundaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.5 a 1 mm*

Esfericidad Grado: *Subdiscoidal*
 Coeficiente: *3*

Redondez Grado: *Subanguloso*
 Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clásica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *90%* Matriz: *6%* Cemento: *4%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Farrat - medio*

Estructura sedimentaria: *-* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial* Edad: *Barremiano - Aptiano*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Observaciones:

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (90%)

- Qz: *98 %*

- Frag. roca (FR): *1.5 %*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *0.5 %*

- Otros:

b. Matriz (6%)

- Arcillas: *4 %*

- Ox. de fe: *2 %*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

- Fósiles: *No presenta*

- Otros:

c. Cemento (4%)

- Sílice: *4 %*

- Calcita: *No presenta*

- Otros:

NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita limonitizada*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldespatos, constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 90% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz y cemento (10%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)



FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237689 |
| N° Muestra: M – 08 | | E: 763995 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemperizada: *Marrón*
Color de sup. Fresca: *Gris con tonalidades de óxido de hierro*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria y secundaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.5 a 1 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*
 Coeficiente: *4*

Redondez Grado: *Subanguloso*
 Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *88%*

Matriz: *8%*

Cemento: *4%*

Grado de consolidación: *-*

Detalle de afloramiento: *Farrat - medio*

Estructura sedimentaria: *-*

Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial*

Edad: *Barremiano - Aptiano*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica*

Observaciones:

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (88%)

- Qz: *98 %*

- Frag. roca (FR): *2 %*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *0 %*

- Otros:

b. Matriz (8%)

- Arcillas: *3 %*

- Ox. de fe: *5 %*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

- Fósiles: *No presenta*

c. Cemento (4%)

- Sílice: *4 %*

- Calcita: *No presenta*

- Otros:



NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita con moderada limonitización*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos, constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 88% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz y cemento (12%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237640 |
| N° Muestra: M – 09 | | E: 764206 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemperizada: *Marrón claro*

Color de sup. Fresca: *Gris amarillenta*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *6.0*

Porosidad: *Primaria y secundaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *menor a 0.0625 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*

 Coeficiente: *4*

Redondez Grado: *Subanguloso*

 Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *86%*

Matriz: *10%*

Cemento: *4%*

Grado de consolidación: *-*

Detalle de afloramiento: *Farrat - medio*

Estructura sedimentaria: *-*

Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial*

Edad: *Barremiano - Aptiano*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica*

Observaciones:

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (86%)

- Limos: *97 %*

- Frag. roca (FR): *2 %*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *1 %*

- Otros:

b. Matriz (10%)

- Arcillas: *6 %*

- Ox. de fe: *4 %*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

- Fósiles: *No presenta*

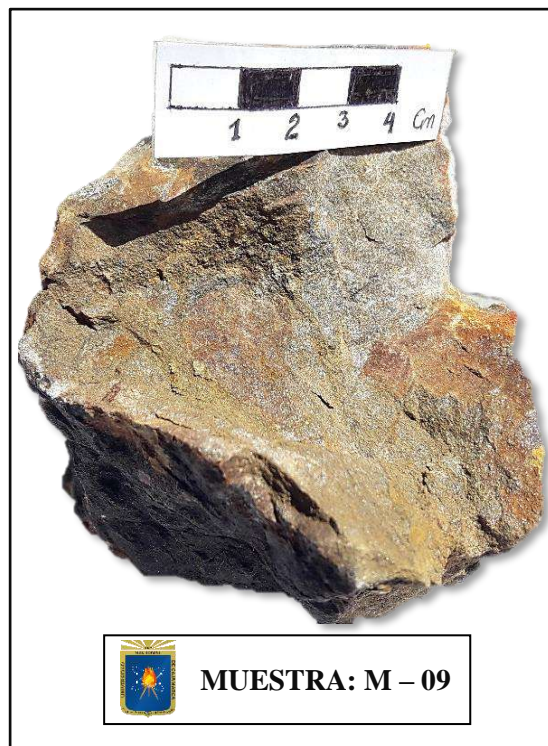
- Otros:

c. Cemento (4%)

- Sílice: *2%*

- Calcita: *No presenta*

- Otros: *2%*



NOMBRE DE LA ROCA: *Limolita limonitizada*

Observaciones: *Los granos de limo, FR y feld K, constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 82% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz y cemento (14%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9238053 |
| N° Muestra: M – 11 | | E: 764457 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca – Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemperizada: *Marrón Claro*

Color de sup. Fresca: *Gris blanquecina*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.5 a 1 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*

Coefficiente: *4*

Redondez Grado: *Subanguloso*

Coefficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *90%* Matriz: *5%* Cemento: *5%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Farrat - medio*

Estructura sedimentaria: *-* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial* Edad: *Barremiano - Aptiano*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Observaciones:

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (90%)

- Qz: *98 %*

- Frag. roca (FR): *2 %*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *0 %*

- Otros:

b. Matriz (5%)

- Arcillas: *4 %*

- Ox. de fe: *1 %*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

- Fósiles: *No presenta*

c. Cemento (5%)

- Sílice: *5 %*

- Calcita: *No presenta*

- Otros:



NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldespatos, constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 90% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz y cemento (10%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9236866 |
| N° Muestra: M – 12 | | E: 763653 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemp: *Marrón*

Color sup. Fresca: *Gris claro*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria y secundaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.125 a 0.5 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*

 Coeficiente: *4.5*

Redondez Grado: *Subanguloso*

 Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Sílice, arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *89%* Matriz: *5%* Cemento: *6%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Miembro medio de la*

Estructura sedimentaria: *-* Fm. *Farrat*

Interpretación Agente: *Acción fluvial* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Edad: *Barremiano - Aptiano*

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (89%)

- Qz: *98%*

- Frag. roca (FR): *2%*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *0%*

- Otros: *-*

b. Matriz (5%)

- Arcillas: *3%*

- Ox. de fe: *2%*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

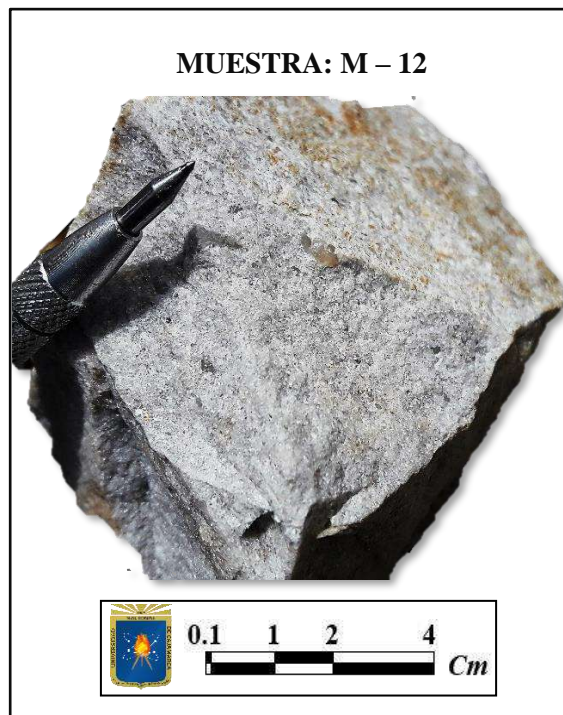
- Otros: *-*

c. Cemento (6%)

- Sílice (Qz): *6%*

- Calcita: *No presenta*

- Otros:



NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita de grano medio*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 89% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz/ cemento (11%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237152 |
| N° Muestra: M – 13 | | E: 763980 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemp.: *Marrón amarillento*

Color de sup. Fresca: *Gris oscuro*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *6.0*

Porosidad: *Primaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *menor a 0.0625 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*

Coeficiente: *4*

Redondez Grado: *Subanguloso*

Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *85%* Matriz: *13%* Cemento: *2%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Farrat - medio*

Estructura sedimentaria: *-* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial* Edad: *Barremiano - Aptiano*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Observaciones:

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (85%)

- Limo: *98.5%*

- Frag. roca (FR): *1 %*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *0.5 %*

- Otros:

b. Matriz (13%)

- Arcillas: *10 %*

- Ox. de fe: *3 %*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

- Fósiles: *No presenta*

- Otros:

c. Cemento (2%)

- Sílice: *1 %*

- Calcita: *No presenta*

- Otros: *1 %*



NOMBRE DE LA ROCA: *Limolita*

Observaciones: *Los granos de limo, FR y feld K, constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 85% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz y cemento (15%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237043 |
| N° Muestra: M – 14 | | E: 763922 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemp.: *Marrón amarillenta*
 Color de sup. Fresca: *Gris con tonalidades de óxidos de hierro*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria y secundaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.5 a 1 mm*

Esfericidad Grado: *Discoidal*
 Coeficiente: *3*

Redondez Grado: *Subanguloso*
 Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Madura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas, óxidos de hierro y minerales opacos.*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *76%* Matriz: *7%* Cemento: *4%* Min. Opacos: *13%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Miembro medio de la Fm. Farrat*

Estructura sedimentaria: *-* Interpretación Agente: *Acción Fluvial* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Edad: *Barremiano - Aptiano*

III.- COMPOSICIÓN

| a.- Grns estructurales (76%) | b. Matriz (7%) | c. Cemento (4%) | d. Accesorios (13%) |
|------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| - Qz: <i>99%</i> | - Arcillas: <i>3%</i> | - Sílice Qz: <i>4%</i> | - Min. Opacos <i>13%</i> |
| - Frag. roca (FR): <i>1%</i> | - Ox. de fe: <i>4%</i> | - Calcita: <i>-</i> | - |
| - Fel. Na-Ca: <i>-</i> | - Ox. de Mn: <i>-</i> | - Otros: <i>-</i> | - |
| - Muscovita: <i>-</i> | - Glauconita: <i>-</i> | | |
| - Feld k: <i>0%</i> | - Micas: <i>-</i> | | |

NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita recristalizada con mineralización diseminada*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos, constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 76% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz/ cemento (11%), y minerales opacos (13%)*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)



FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

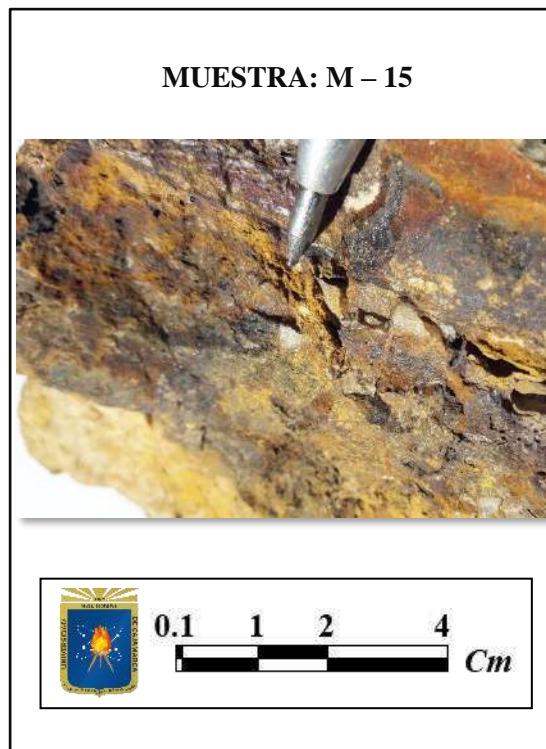
| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9236844 |
| N° Muestra: M – 15 | | E: 763771 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

| |
|--|
| Color de sup. Intemp.: <i>Marrón oscuro</i> |
| Color sup. Fresca: <i>Amarilla con fragmentos blancos de arenisca cuarzosa</i> |
| Brillo: <i>Vítreo</i> |
| Dureza (Mohs): <i>7.0</i> |
| Porosidad: <i>Primaria y secundaria</i> |
| Raya: <i>Amarilla</i> |
| Fractura: <i>Irregular</i> |
| Reacción con HCL: <i>No reacciona</i> |
| Tenacidad: <i>Moderada</i> |
| Grado de consolidación: <i>Dura</i> |

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

| | |
|--|-----------------------------|
| Tamaño de grano: <i>Mayor de 2 mm</i> | |
| Esfericidad | Grado: <i>Subprismático</i> |
| | Coefficiente: <i>2.5</i> |
| Redondez | Grado: <i>Anguloso</i> |
| | Coefficiente: <i>2</i> |
| Empaquetamiento: <i>Cerrado o romboedral</i> | |
| Entramado: <i>-</i> | |
| Orientación: <i>Aleatoria</i> | |
| Madurez Textural: <i>Madura</i> | |
| Madurez mineralógica: <i>Madura</i> | |
| Selección: <i>Mal clasificado</i> | |



Cemento y/ o Matriz: *Sílice y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de fragmento soportado*

% Relativo: Esqueleto: *87%* Matriz: *9%* Cemento: *4%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Miembro Medio de la Fm. Farrat*

Estructura sedimentaria: *-* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *-* Edad: *Barremiano - Aptiano*

Genética Medio Sed.: *Tectónico*

III.- COMPOSICIÓN

| a.- Granos estructurales (87%) | b. Matriz (9%) | c. Cemento (4%) |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| - Qz: <i>-</i> | - Arcillas: <i>2%</i> | - Sílice (Qz): <i>4%</i> |
| - Frag. roca (FR): <i>99%</i> | - Ox. de fe: <i>7%</i> | - Calcita: <i>No presenta</i> |
| - Fel. Na-Ca: <i>-</i> | - Ox. de Mn: <i>-</i> | - Otros: |
| - Muscovita: <i>-</i> | - Glauconita: <i>-</i> | |
| - Feld k: <i>1%</i> | - Micas: <i>-</i> | |
| - Otros: | - Fósiles: <i>No presenta</i> | |

NOMBRE DE LA ROCA: *Brecha Tectónica*

Observaciones: *Los granos estructurales están constituidos por fragmentos de roca sedimentaria (arenisca), producto de la trituración de las areniscas por la falla cortaderas.*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9236119 |
| N° Muestra: M – 17 | | E: 764340 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca – Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemperizada: *Gris*

Color de sup. Fresca: *Gris oscura*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria y secundaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.25 a 1 mm*

Esfericidad Grado: *Discoïdal*

Coeficiente: *3*

Redondez Grado: *Subanguloso*

Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas, óxidos de hierro y minerales opacos.*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *73%* Matriz: *8%* Cemento *4%* Min. Opacos: *15%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Farrat - Inferior*

Estructura sedimentaria: *-* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial* Edad: *Barremiano - Aptiano*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Observaciones: *-*

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estruct (73%) b. Matriz (8%) c. Cemento (4%) d. Accesorios (15%)

- Qz: *98.68%* - Arcillas: *7%* - Sílice (Qz): *4%* - Min Opacos.: *15%*

- Frag. roca (FR): *1.32%* - Ox. de fe: *1%* - Calcita: *No* - Otros: *-*

- Fel. Na-Ca: *-* - Ox. de Mn: *-* - Otros: *-*

- Muscovita: *-* - Glauconita: *-*

- Feld k: *0%* - Micas: *-*

- Otros: *-* - Fósiles: *No presenta*

NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita recristalizada con mineralización diseminada*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos, constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 73% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz/ cemento (12%), y minerales opacos (15%)*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)



FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9236484 |
| N° Muestra: M – 18 | | E: 764389 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemp.: *Marrón*

Color sup. Fresca: *Gris*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.125 a 0.25 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*

Coeficiente: *4.5*

Redondez Grado: *Subanguloso*

Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas y óxidos de hierro.*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *87%* Matriz: *8%* Cemento: *5%*

Grado de consolidación: *-*

Detalle de afloramiento: *Miembro inferior de la Fm. Farrat*

Estructura sedimentaria: *-*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial*

Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica*

Edad: *Barremiano - Aptiano*

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (87%)

- Qz: *98%*

- Frag. roca (FR): *1.5%*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *0.5%*

- Otros:

b. Matriz (8%)

- Arcillas: *5%*

- Ox. de fe: *3%*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

- Fósiles: *No presenta*

c. Cemento (5%)

- Sílice (Qz): *5%*

- Calcita: *No presenta*

- Otros:



NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita de grano fino*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 87% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz/ cemento (13%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237097 |
| N° Muestra: M – 19 | | E: 764584 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

| |
|---|
| Color de sup. Intemp.: <i>Amarilla</i> |
| Color sup. Fresca: <i>Gris con bandas amarillas</i> |
| Brillo: <i>Vítreo</i> |
| Dureza (Mohs): <i>7.0</i> |
| Porosidad: <i>Primaria</i> |
| Raya: <i>Blanca</i> |
| Fractura: <i>Irregular</i> |
| Reacción con HCL: <i>No reacciona</i> |
| Tenacidad: <i>Moderada</i> |
| Grado de consolidación: <i>Dura</i> |

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

| | |
|--|---------------------------|
| Tamaño de grano: <i>Menor a 0.4 mm</i> | |
| Esfericidad | Grado: <i>Esférico</i> |
| | Coficiente: <i>4.5</i> |
| Redondez | Grado: <i>Subanguloso</i> |
| | Coficiente: <i>2.5</i> |
| Empaquetamiento: <i>Cerrado o romboedral</i> | |
| Entramado: <i>-</i> | |
| Orientación: <i>Aleatoria</i> | |
| Madurez Textural: <i>Supermadura</i> | |
| Madurez mineralógica: <i>Supermadura</i> | |

Selección: *Bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas y óxidos de hierro.*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *92%* Matriz: *6.5 %* Cemento: *1.5%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Farrat - miembro Inferior*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Edad: *Barremiano - Aptiano*

III.- COMPOSICIÓN

| a.- Granos estructurales (92%) | b. Matriz (6.5%) | c. Cemento (1.5%) |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| - Qz: <i>99.9 %</i> | - Arcillas: <i>4 %</i> | - Sílice (Qz): <i>1.5 %</i> |
| - Frag. roca (FR): <i>0.10 %</i> | - Ox. de fe: <i>2.5 %</i> | - Calcita: <i>No presenta</i> |
| - Fel. Na-Ca: <i>-</i> | - Ox. de Mn: <i>-</i> | - Otros: |
| - Muscovita: <i>-</i> | - Glauconita: <i>-</i> | |
| - Feld k: <i>0 %</i> | - Micas: <i>-</i> | |
| - Otros: <i>Rutilo: (traza)</i> | - Fósiles: <i>No presenta</i> | |
| <i>Zircón: (traza)</i> | | |

NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita de grano medio*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR, Feldspatos y metales pesados constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 92% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz/ cemento (8%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)



FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237661 |
| N° Muestra: M – 20 | | E: 764682 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemp.: *Marrón oscuro*

Color sup. Fresca: *Gris claro*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.125 a 0.5 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*

Coficiente: *4.5*

Redondez Grado: *Subanguloso*

Coficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Supermadura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Cuarzo, arcillas y óxidos de hierro.*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *88%* Matriz: *7%* Cemento: *5%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Miembro inferior de la*

Estructura sedimentaria: *-* *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción Fluvial* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Edad: *Barremiano - Aptiano*

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (88%)

- Qz: *98%*

- Frag. roca (FR): *2%*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *0%*

- Otros:

b. Matriz (7%)

- Arcillas: *5%*

- Ox. de fe: *2%*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

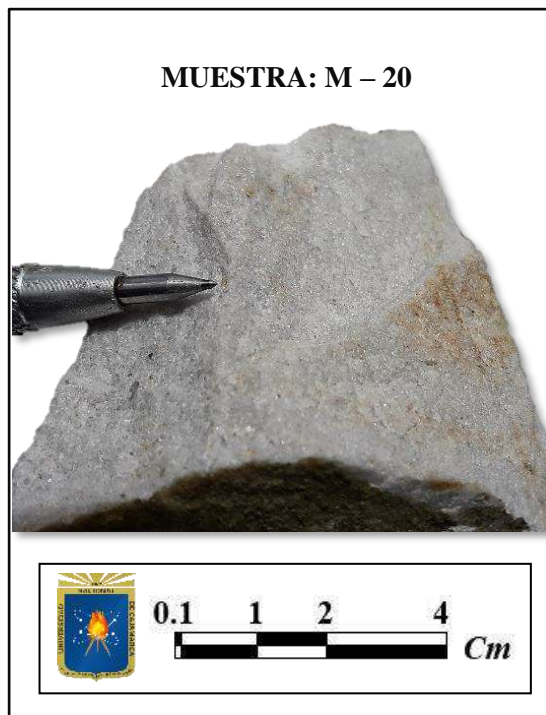
- Fósiles: *No presenta*

c. Cemento (5%)

- Sílice (Qz): *5%*

- Calcita: *No presenta*

- Otros:



NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita de grano medio*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 88% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz/ cemento (12%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9237866 |
| N° Muestra: M – 21 | | E: 764637 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemp: *Marrón con tonalidades anaranjadas*

Color sup. Fresca: *Gris*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria y secundaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.125 a 0.5 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*

Coefficiente: *4.5*

Redondez Grado: *Subanguloso*

Coefficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Madura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Sílice, arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *90%* Matriz: *6%* Cemento: *4%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Miembro inferior de la*

Estructura sedimentaria: *-* *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción fluvial* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Edad: *Barremiano - Aptiano*

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (90%)

- Qz: *97%*

- Frag. roca (FR): *2%*

- Fel. Na-Ca: *-*

- Muscovita: *-*

- Feld k: *1%*

- Otros: *-*

b. Matriz (6%)

- Arcillas: *4%*

- Ox. de fe: *2%*

- Ox. de Mn: *-*

- Glauconita: *-*

- Micas: *-*

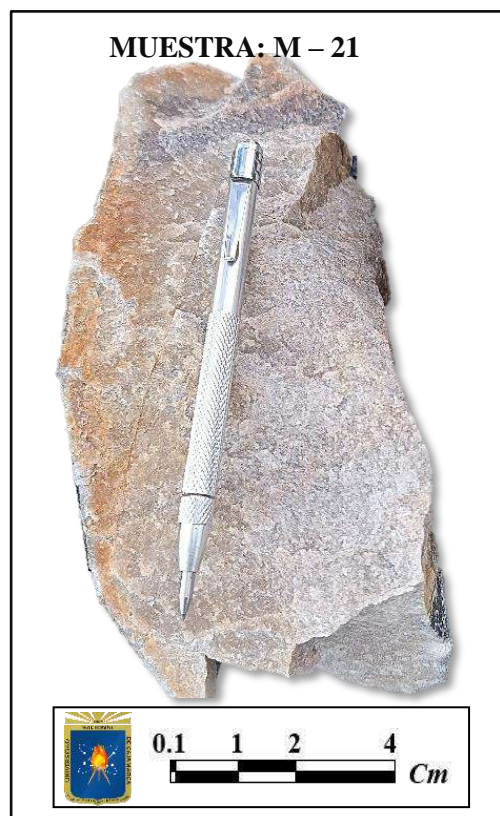
- Fósiles: *No presenta*

c. Cemento (4%)

- Sílice (Qz): *4%*

- Calcita: *No presenta*

- Otros: *-*



NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita de grano medio*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 90% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz/ cemento (10%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)

FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS CLÁSTICAS

PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO – CAJAMARCA

| | | |
|---|--|------------|
| Fecha: Agosto del 2023 | Coordenadas | N: 9238371 |
| N° Muestra: M – 22 | | E: 764804 |
| N° Carta: 14 – f – II | DATUM: WGS-84 | |
| Nombre Carta: <i>Chota</i> | Localidad: <i>Alto Perú – San Cirilo</i> | |
| Distrito y región: <i>Tumbadén, Cajamarca - Cajamarca</i> | | |

I.- ASPECTOS GENERALES

Color de sup. Intemp: *Marrón oscuro*

Color sup. Fresca: *Gris claro con tonalidades anaranjadas*

Brillo: *Vítreo*

Dureza (Mohs): *7.0*

Porosidad: *Primaria*

Raya: *Blanca*

Fractura: *Irregular*

Reacción con HCL: *No reacciona*

Tenacidad: *Moderada*

Grado de consolidación: *Dura*

II.- ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES

Tamaño de grano: *De 0.125 a 0.5 mm*

Esfericidad Grado: *Esférico*
 Coeficiente: *4.5*

Redondez Grado: *Subanguloso*
 Coeficiente: *2.5*

Empaquetamiento: *Cerrado o romboedral*

Entramado: *-*

Orientación: *Aleatoria*

Madurez Textural: *Madura*

Madurez mineralógica: *Supermadura*

Selección: *Moderadamente bien clasificado*

Cemento y/ o Matriz: *Sílice, arcillas y óxidos de hierro*

Fábrica: *Clástica de grano soportado*

% Relativo: Esqueleto: *92%* Matriz: *4%* Cemento: *4%*

Grado de consolidación: *-* Detalle de afloramiento: *Miembro inferior de la*

Estructura sedimentaria: *-* *Fm. Farrat*

Interpretación Agente: *Acción fluvial* Unidad estratigráfica: *Fm. Farrat*

Genética Medio Sed.: *Llanura deltaica* Edad: *Barremiano - Aptiano*

III.- COMPOSICIÓN

a.- Granos estructurales (92%)

- Qz: *98%*
- Frag. roca (FR): *1.5%*
- Fel. Na-Ca: *-*
- Muscovita: *-*
- Feld k: *0.5%*

b. Matriz (4%)

- Arcillas: *3%*
- Ox. de fe: *1%*
- Ox. de Mn: *-*
- Glauconita: *-*
- Micas: *-*

c. Cemento (4%)

- Sílice (Qz): *4%*
- Calcita: *No presenta*
- Otros: *-*

NOMBRE DE LA ROCA: *Cuarzoarenita de grano medio*

Observaciones: *Los granos de Qz, FR y Feldspatos constituyen el 100% del esqueleto (el cual representa el 92% del total), los demás componentes están atribuidos a la matriz/ cemento (8%).*

Fuente: Formato tomado de Arapa, (2019)



ANEXO IV

PLANOS

Plano N° 1 – Plano de Ubicación

Plano N° 2 – Imagen Satelital

Plano N° 3 – Modelo Digita de Elevaciones (MDE)

Plano N° 4 - Plano Geológico

Plano N° 5 – Plano de muestreo

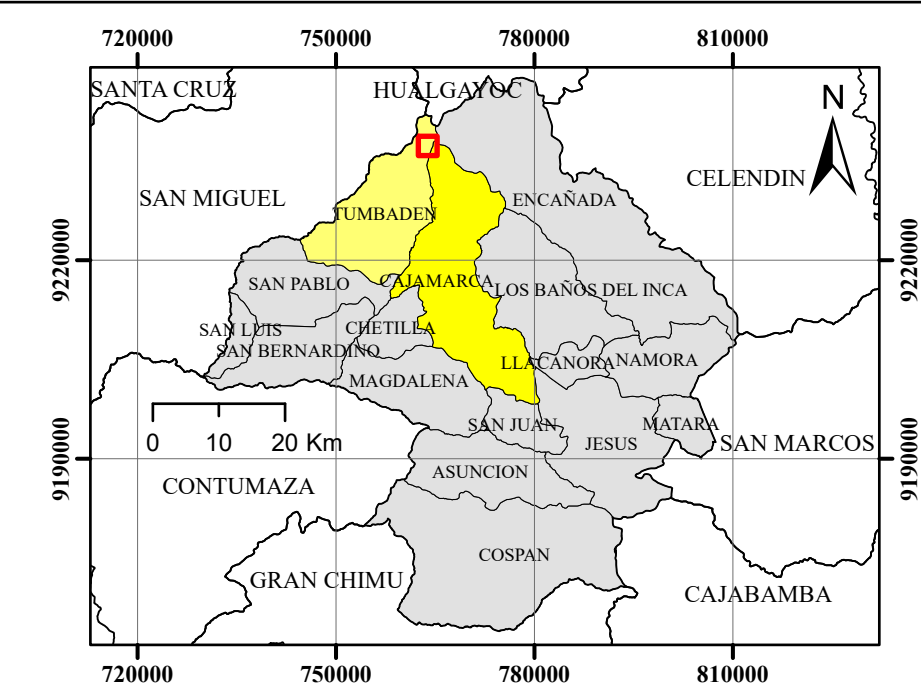
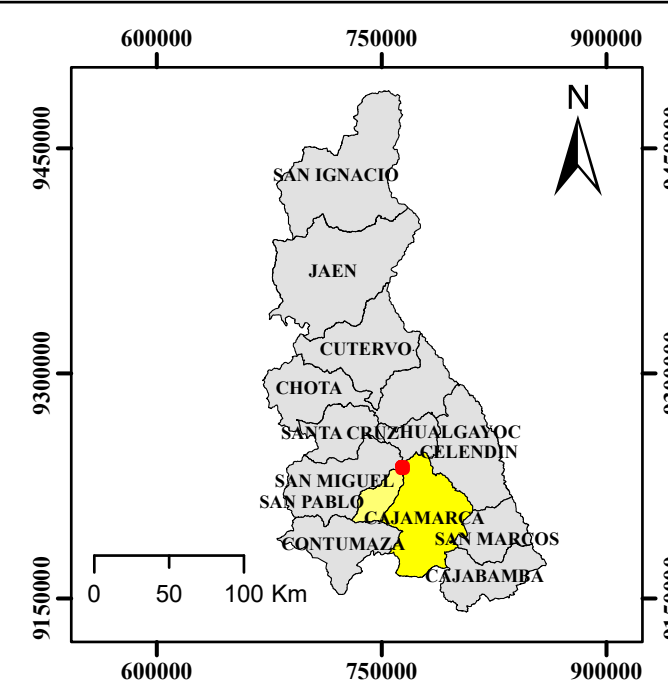
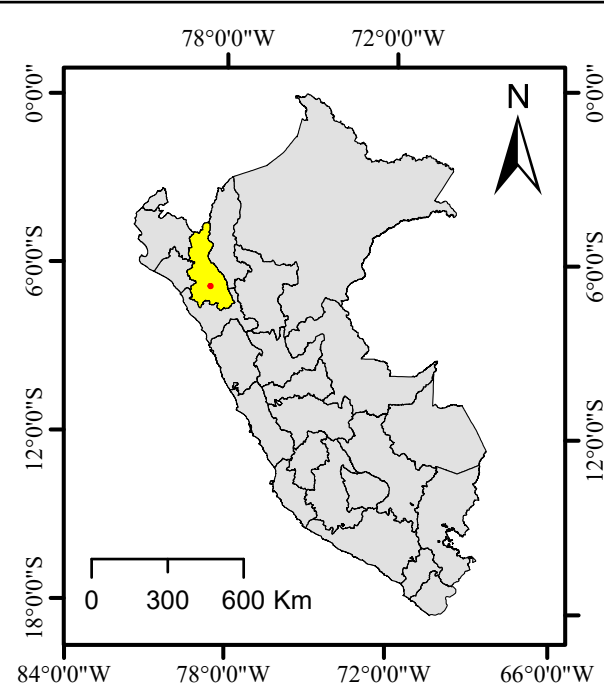
Plano N° 6 – Columna estratigráfica local

Plano N° 7 – Perfil geológico

Plano N° 8 – Modelo de proveniencia del Titoniano

Plano N° 9 – Modelo de proveniencia del Valanginiano

Plano N° 10 – Modelo de proveniencia del Valanginiano – Aptiano



SIMBOLOGÍA

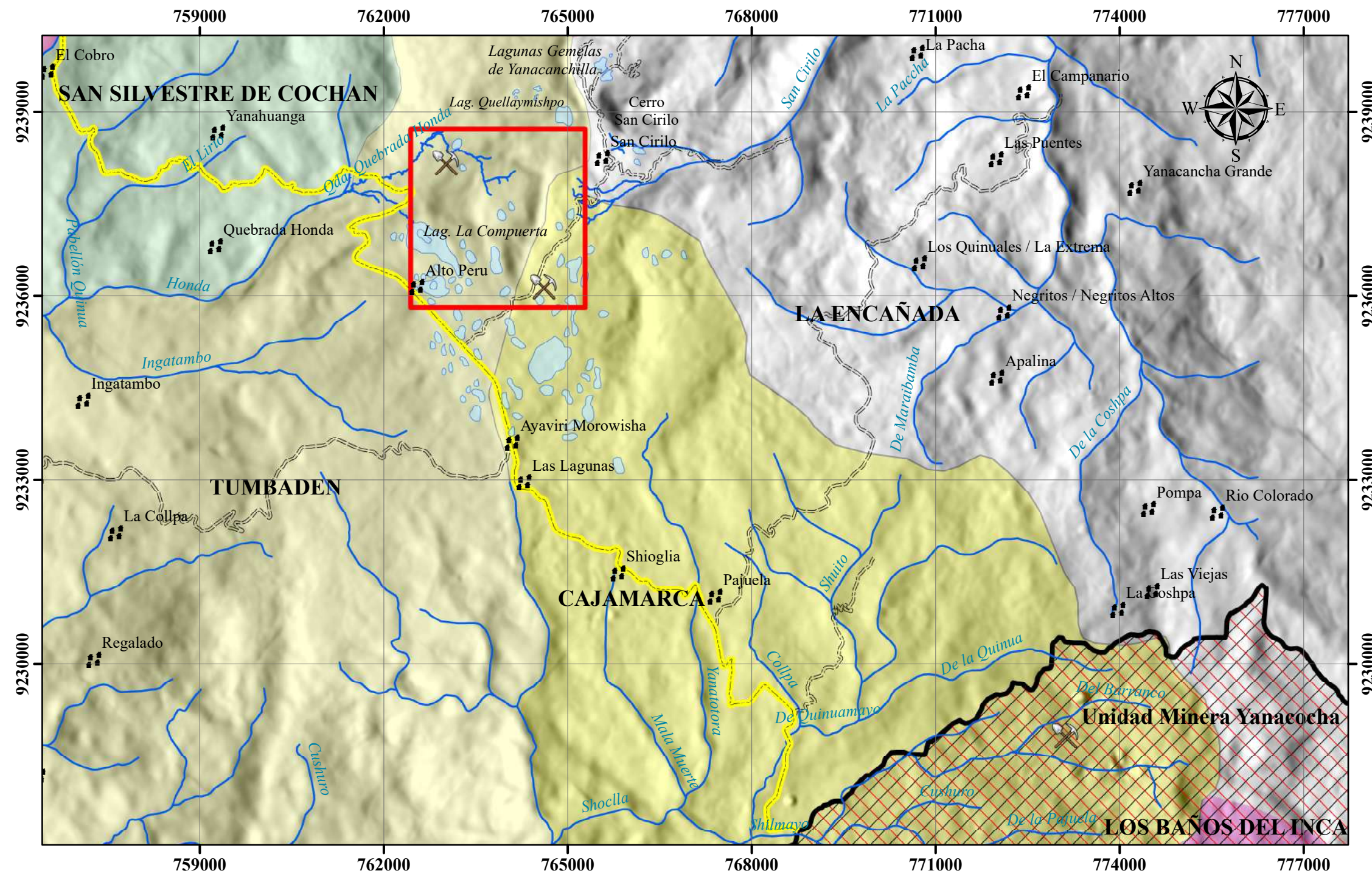
- Centro Poblado
- Drenaje
- Unidad Minera
- Vía Asfaltada
- Trocha Carrozable
- Área de Proyecto Minero
- Lagunas
- Área de Investigación

DISTRITOS

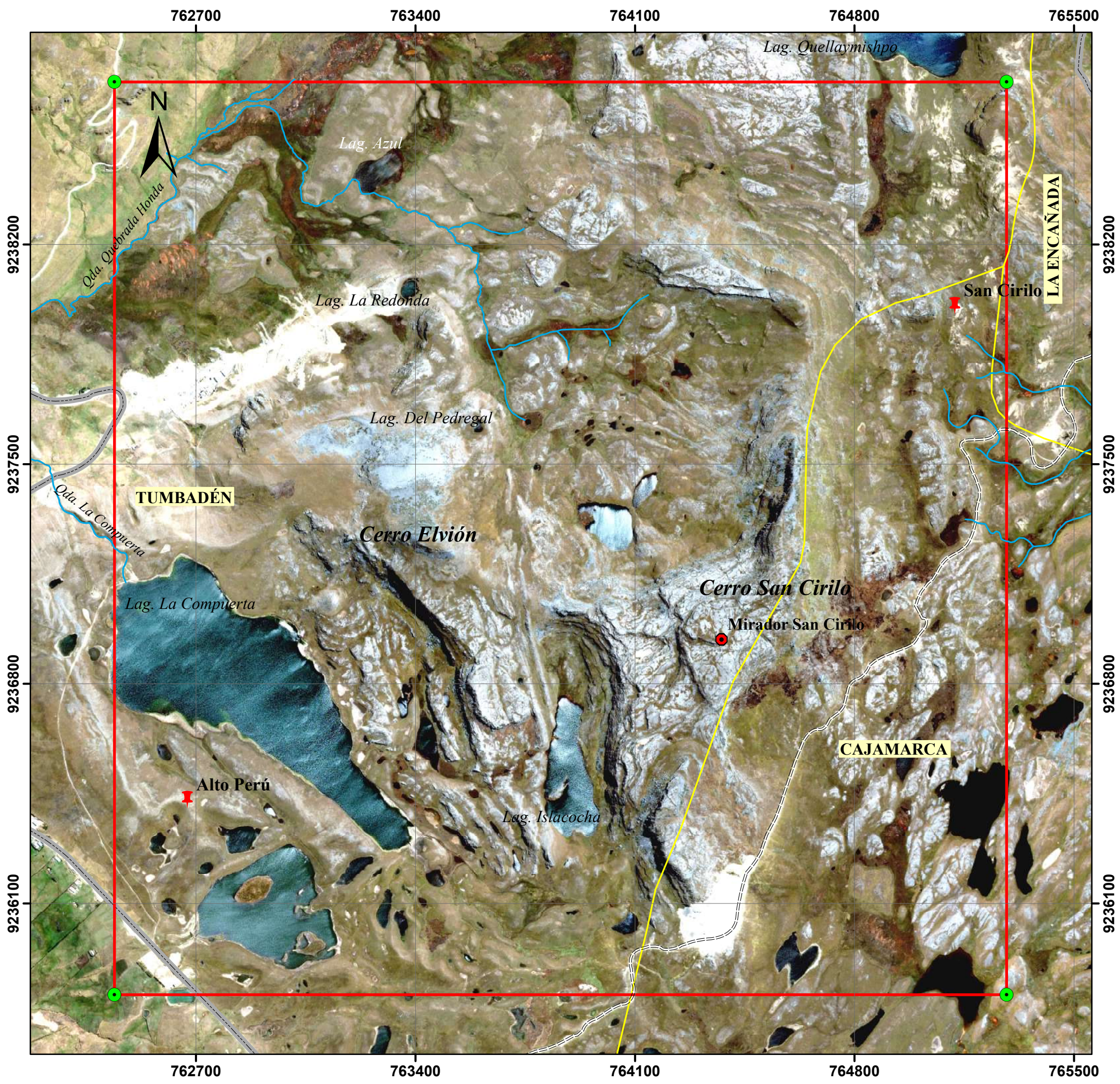
- CAJAMARCA
- ENCAÑADA
- HUALGAYOC
- LOS BAÑOS DEL INCA
- SAN SILVESTRE DE COCHAN
- TUMBADEN



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

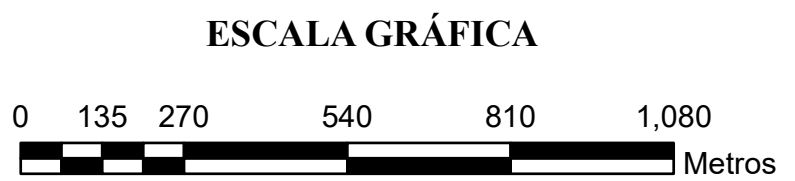


| | | |
|---|---|-------------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | |
| | TESIS PROFESIONAL PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA | |
| | PLANO: UBICACIÓN | ESCALA: 1/ 75,000 |
| | TESISTA: NILTON HEINER CERDÁN VÁSQUEZ | P - 01 |
| ASESOR: MCs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA | | |
| SISTEMA: UTM - WGS84 | FECHA: Enero 2024 | |



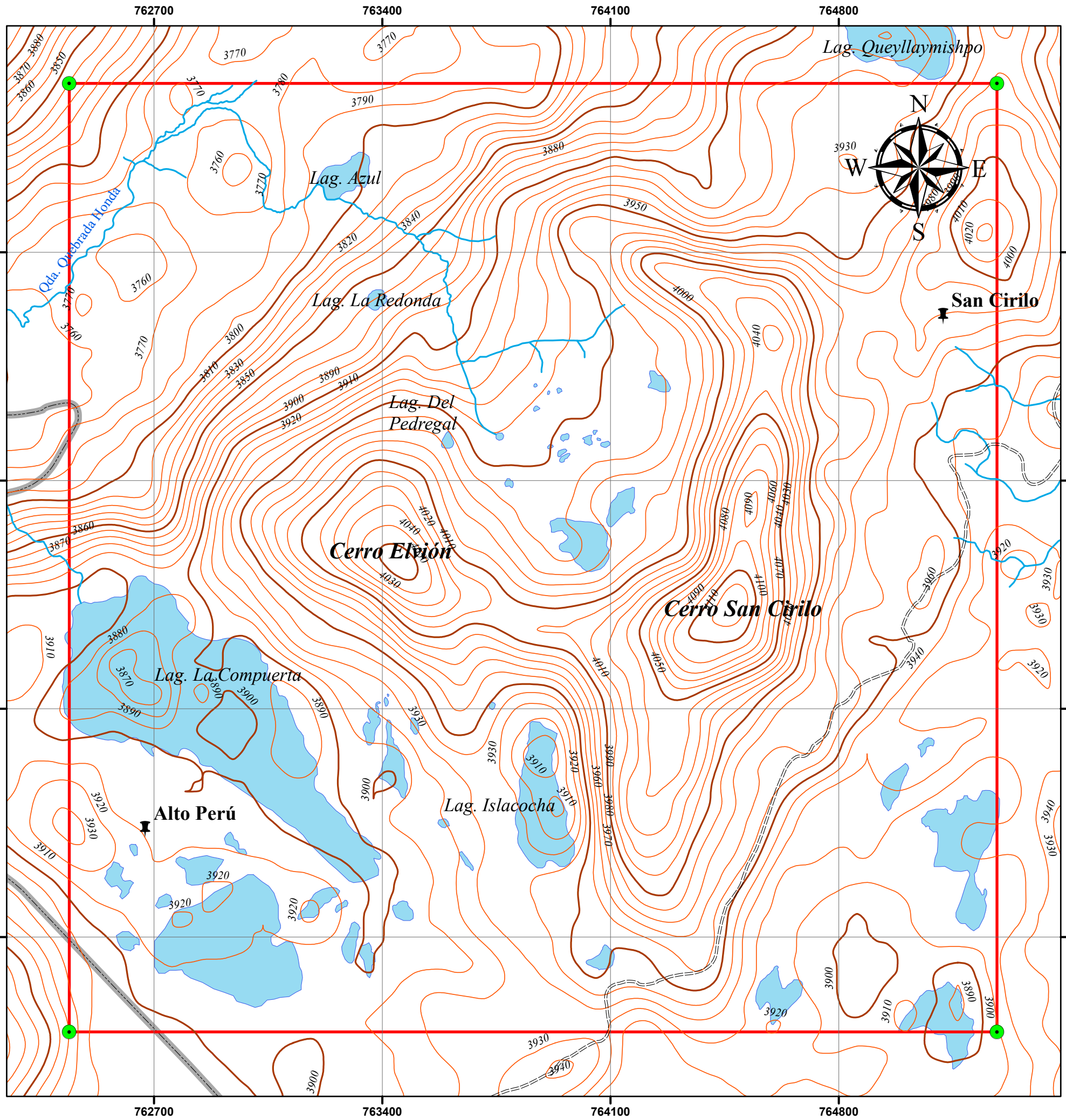
SIMBOLOGÍA

- Caserios
- Mirador San Cirilo
- Drenaje
- Via Asfaltada
- Trocha Carrozable
- Límite distrital
- Área de Investigación



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

| | | |
|----------------------|--|------------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | |
| | TESIS PROFESIONAL PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA | |
| | PLANO: IMAGEN SATELITAL | ESCALA: 1/12,500 |
| | TESISTA: NILTON HEINER CERDÁN VÁSQUEZ | |
| | ASESOR: MCs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA | |
| SISTEMA: UTM - WGS84 | FECHA: Enero 2024 | P - 02 |



SIMBOLOGÍA

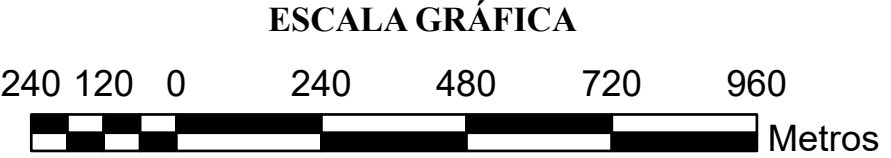
- Caserios
- Drenaje
- Via Asfaltada
- Trocha Carrozable

LEYENDA

- Lagunas
- Área de Investigación

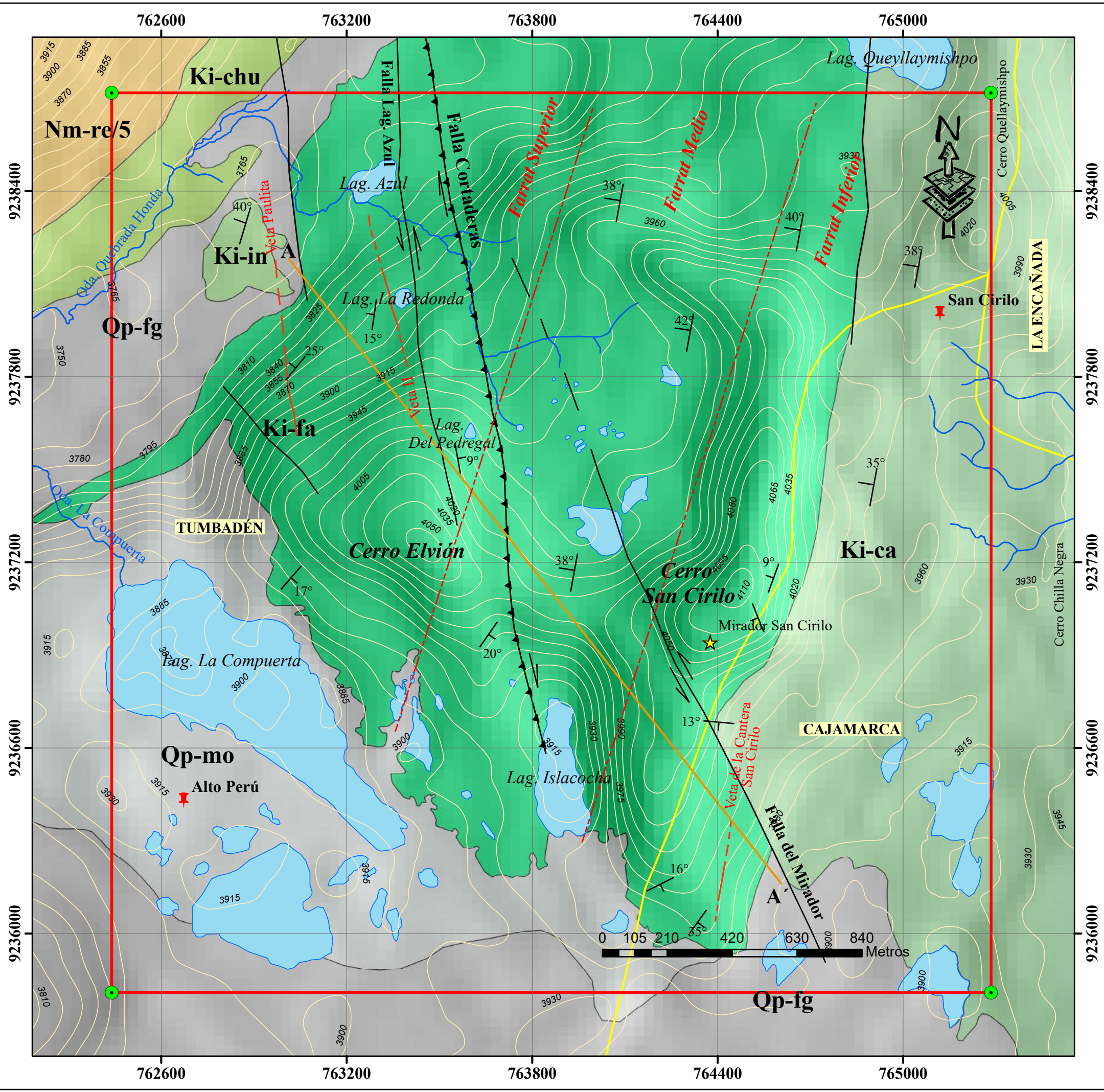
CURVAS DE NIVEL

- Curvas de nivel cada 10 m
- Curvas de nivel cada 50 m



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

| | | |
|---|---|-------------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | |
| | Facultad de Ingeniería | |
| | Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | |
| | TESIS PROFESIONAL | |
| PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA | | |
| PLANO: | MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES | ESCALA: 1/12,500 |
| TESISTA: | NILTON HEINER CERDÁN VÁSQUEZ | |
| ASESOR: | MCs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA | |
| SISTEMA: | UTM - WGS84 | FECHA: Enero 2024 |
| | | P - 03 |



UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

| | |
|---------|-------|
| Qp-fg | Ki-in |
| Qp-mo | Ki-fa |
| Nm-re/5 | Ki-ca |
| Ki-chu | |

SIMBOLOGÍA

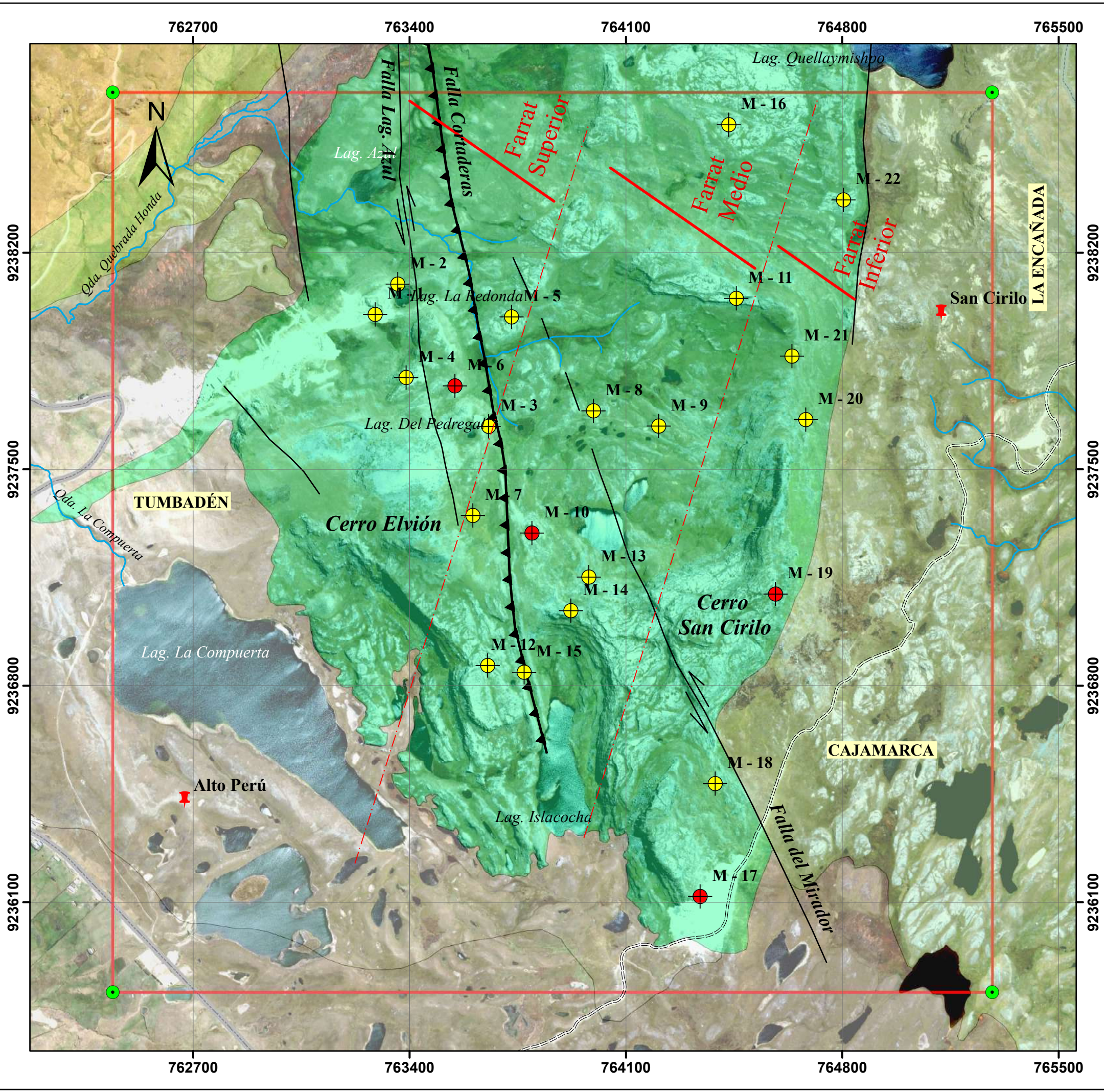
| | |
|--|-------------------------------|
| | Buzamiento |
| | Estructura Mineralizada |
| | Falla de Rumbo |
| | Falla Inversa Inferida |
| | Falla Inversa |
| | Sub-Unidad Litoestratigráfica |
| | Sección geológica (A-A') |

LEYENDA

| | |
|--|-----------------------|
| | Caserios |
| | Mirador San Cirilo |
| | Drenaje |
| | Curvas de Nivel |
| | Lagunas |
| | Límite Distrital |
| | Zona de Investigación |

FUENTE:
 Instituto Geológico Minero y Metalúrgico 2023
 Página virtual: <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/>

| | | |
|----------------------|--|-------------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | |
| | TESIS PROFESIONAL PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA | |
| | PLANO: GEOLÓGICO | ESCALA: 1/ 12,500 |
| | TESISTA: NILTON HEINER CERDÁN VÁSQUEZ | |
| | ASESOR: MCs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA | |
| SISTEMA: UTM - WGS84 | FECHA: Julio 2024 | P - 04 |



SIMBOLOGÍA

- Caserios
- Límite distrital
- Drenaje
- Via Asfaltada
- Trocha Carrozable
- Falla Inversa
- Falla de Rumbo
- Área de Investigación

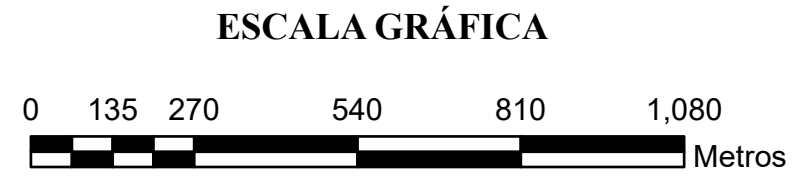
PUNTOS DE MUESTREO

- Macroscópico
- Microscópico

LEYENDA

Geología

| | |
|--------|---------|
| Ki-ca | Nm-re/5 |
| Ki-chu | Qh-al |
| Ki-fa | Qp-fg |
| Ki-in | Qp-mo |



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

| | | |
|----------------------|--|-------------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | |
| | TESIS PROFESIONAL PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA | |
| | PLANO: PUNTOS DE MUESTREO | ESCALA: 1/ 12,500 |
| | TESISTA: NILTON HEINER CERDÁN VÁSQUEZ | |
| | ASESOR: MCs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA | P - 05 |
| SISTEMA: UTM - WGS84 | FECHA: Julio 2024 | |

**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LOCAL DE LA FORMACIÓN FARRAT
CASERÍOS DE ALTO PERÚ - SAN CIRILO**

| ERA | PERIODO | ÉPOCA | EDAD | UNIDAD LITO-ESTRATIGRÁFICA | ESPESOR (M) | LITOLOGÍA | <small>Arcillas</small> <small>Limos</small> <small>mf</small> <small>f</small> <small>Arenisca md</small> <small>BF</small> <small>ff</small> <small>Comp</small> | SECUENCIA | DESCRIPCIÓN | | |
|-------------|-----------|--------------------|----------------------|----------------------------|------------------|-----------|---|-----------|-------------|---|---|
| | | | | | | | | | | | |
| FANEROZOICO | CENOZOICO | CRETÁCICO INFERIOR | BARREMIANO - APTIANO | FORMACIÓN FARRAT | MIEMBRO SUPERIOR | | | | | ▲ | Depósitos fluviograciarios de arenas y limos |
| | | | | | 500 | | | | | ▲ | Depósitos fluviograciarios de arenas, cantos y bloques |
| | | | | | 490 | | | | | ▲ | Areniscas cuarzosas de grano grueso (de 0.5 a 1 mm) con horizontes de arcillolitas bituminosas. Presentan coloración gris con tonalidades naranjas debido a la presencia de óxidos de hierro. Textura clástica de grano soportado. |
| | | | | | 480 | | | | | ▲ | Arenisca cuarsoza de grano fino, de textura clástica y grano soportado |
| | | | | | 470 | | | | | ▲ | Arenisca cuarsoza de grano grueso, supermadura, moderadamente bien clasificada, de textura clástica y grano soportado. Los granos de Qz, FR y Feldespatos representa el 90% del total los demás componentes están atribuidos a la matriz y cemento (10%). |
| | | | | | 460 | | | | | ▲ | Areniscas cuarzosas de grano muy grueso a grano medio. Estratificación sesgada. Secuencia estrato-granodecreciente, desde areniscas de grano muy grueso a areniscas de grano medio. |
| | | | | | 450 | | | | | ▲ | Areniscas cuarzosas de grano grueso a grano medio limonitizada. Estratificación sesgada. Secuencia estrato-granodecreciente, desde areniscas de grano grueso a areniscas de grano medio. |
| | | | | | 440 | | | | | ▲ | Areniscas cuarzosas de grano medio a grano fino con moderada limonitización. Estratificación sesgada. Secuencia estrato-granodecreciente, desde areniscas de grano medio a areniscas de grano fino. Textura clástica de grano soportado. |
| | | | | | 430 | | | | | ▲ | Capas masivas con bandas de cuarzo masivo recristalizado. |
| | | | | | 420 | | | | | ▲ | Arcillolitas bituminosas, laminadas. |
| | | | | | 410 | | | | | ▲ | Areniscas cuarzosas de grano medio a grano fino con moderada limonitización. Estratificación sesgada. Secuencia estrato-granodecreciente, desde areniscas de grano medio a areniscas de grano fino. Textura clástica de grano soportado. |
| | | | | | 400 | | | | | ▲ | Limolitas grises, capas delgadas y limonitizadas. |
| | | | | | 390 | | | | | ▲ | Areniscas cuarzosas de grano medio a grano fino con moderada limonitización. Secuencia estrato-granodecreciente, desde areniscas de grano medio a areniscas de grano fino. |
| | | | | | 380 | | | | | ▲ | Arcillitas con intercalación de limolitas grises. |
| | | | | | 370 | | | | | ▲ | Areniscas cuarzosas de grano medio a grano fino. Secuencia estrato-granodecreciente, desde areniscas de grano medio a areniscas de grano fino. |
| | | | | | 360 | | | | | ▲ | Limolitas grises, con moderada limonitización |
| | | | | | 350 | | | | | ▲ | Areniscas cuarzosas de grano medio a grano fino, estratificación sesgada. Secuencia estrato-granodecreciente, desde areniscas de grano medio a areniscas de grano fino. |
| | | | | | 340 | | | | | ▲ | Limolitas grises, con moderada limonitización |
| | | | | | 330 | | | | | ▲ | Areniscas cuarzosas de grano fino a grano muy fino. Secuencia estrato-granodecreciente, desde areniscas de grano fino a areniscas de grano muy fino. |
| | | | | | 320 | | | | | ▲ | Arcillolitas bituminosas gris oscuras. |
| | | | | | 310 | | | | | ▲ | Areniscas cuarzosas de grano medio a grano fino, estratificación sesgada. Secuencia estrato-granodecreciente, desde areniscas de grano medio a areniscas de grano fino. |
| | | | | | 300 | | | | | ▲ | Limolitas grises, con moderada limonitización |
| | | | | | 290 | | | | | ▲ | |
| | | | | | 280 | | | | | ▲ | |
| | | | | | 270 | | | | | ▲ | |
| | | | | | 260 | | | | | ▲ | |
| | | | | | 250 | | | | | ▲ | |
| | | | | | 240 | | | | | ▲ | |
| 230 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 220 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 210 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 200 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 190 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 180 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 170 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 160 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 150 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 140 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 130 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 120 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 110 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 100 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 90 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 80 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 70 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 60 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 50 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 40 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 30 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 20 | | | | | ▲ | | | | | | |
| 10 | | | | | ▲ | | | | | | |

CONSIDERACIONES: La columna estratigráfica ha sido elaborada teniendo en cuenta la Carta Geológica Nacional a escala 1: 50,00 realizado por el Instituto Nacional Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Facultad de Ingeniería
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

TESIS PROFESIONAL
PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT
EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA

PLANO: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

ESCALA: Indicada

TESISTA: NILTON HEINER CERDÁN VÁSQUEZ

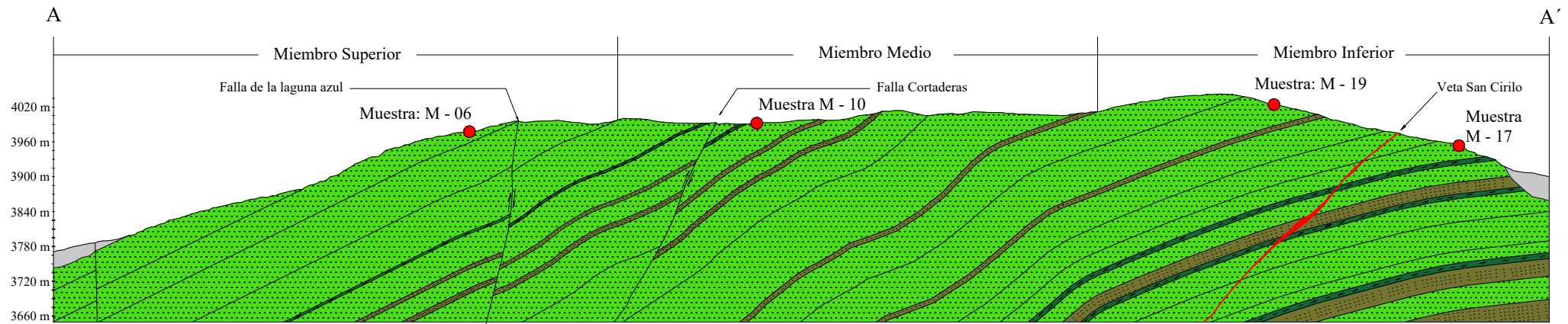
ASESOR: M.Cs. ING. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA

SISTEMA: UTM, WGS - 84

FECHA: JULIO DEL 2024


P - 06

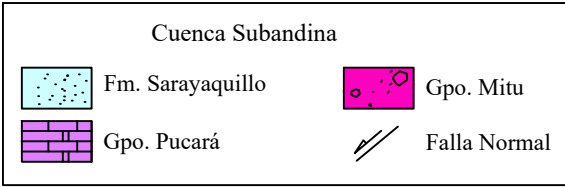
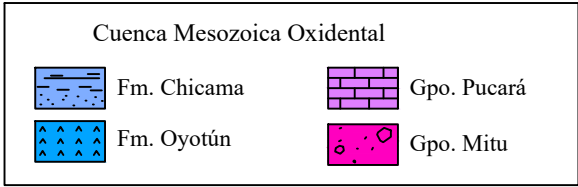
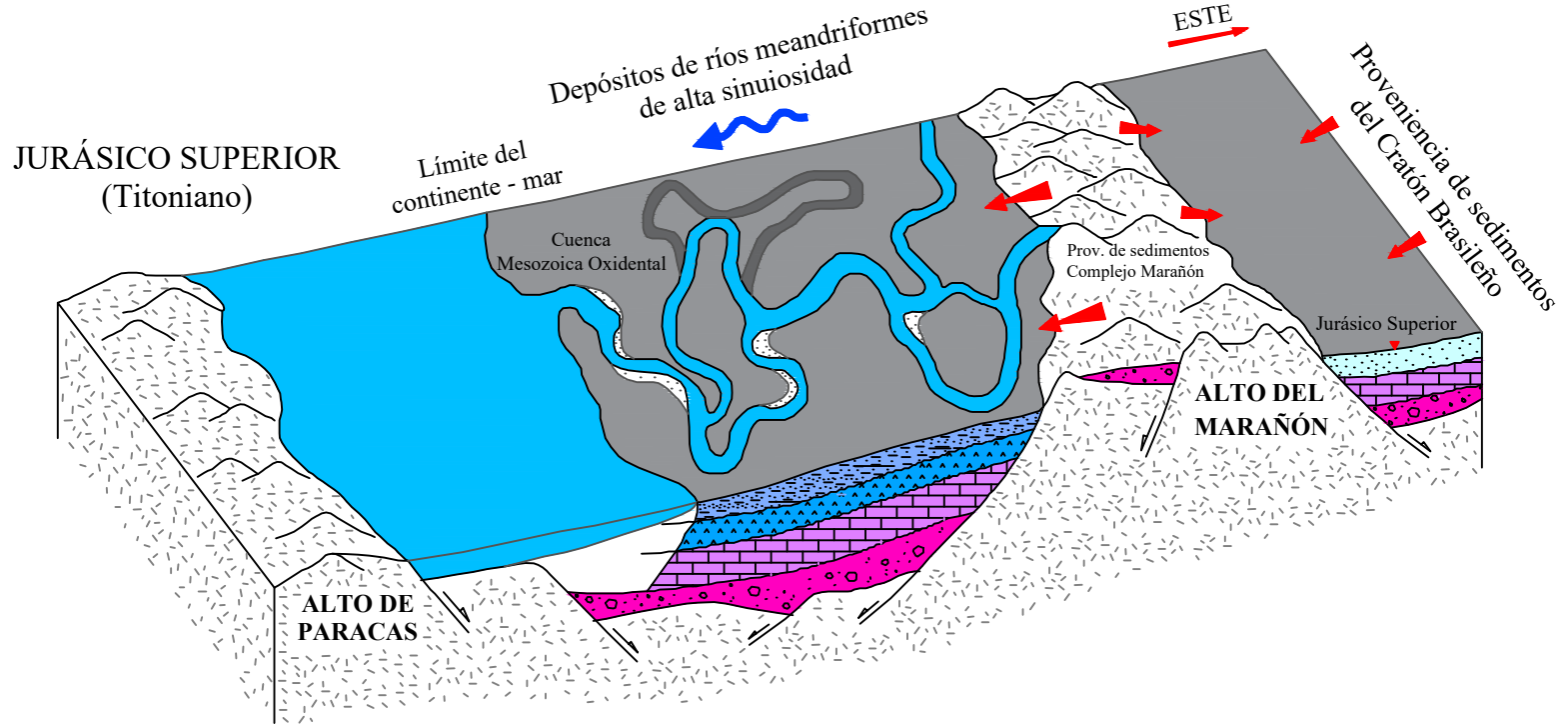
PERFIL A - A' DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ - SAN CIRILO



Fuente: Basado en la Carta Geológica 14 - f - II, INGEMMET (2008)

CONSIDERACIONES: El perfil A- A' ha sido elaborado teniendo en cuenta la Carta Geológica Nacional a escala 1: 50,00 realizado por el Instituto Nacional Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). La recolección de muestras para el análisis petrográfico microscópico, se han tomado de la siguiente manera: Muestra M - 17 y M - 19, del miembro inferior, Muestra M - 10 del Miembro Medio y la muestra M - 06 del miembro superior. Cabe resaltar que las muestras tomadas, plasmadas en el perfil, no están totalmente alineadas a la línea de corte, sin embargo, se ha ubicado referencialmente según el miembro geológico

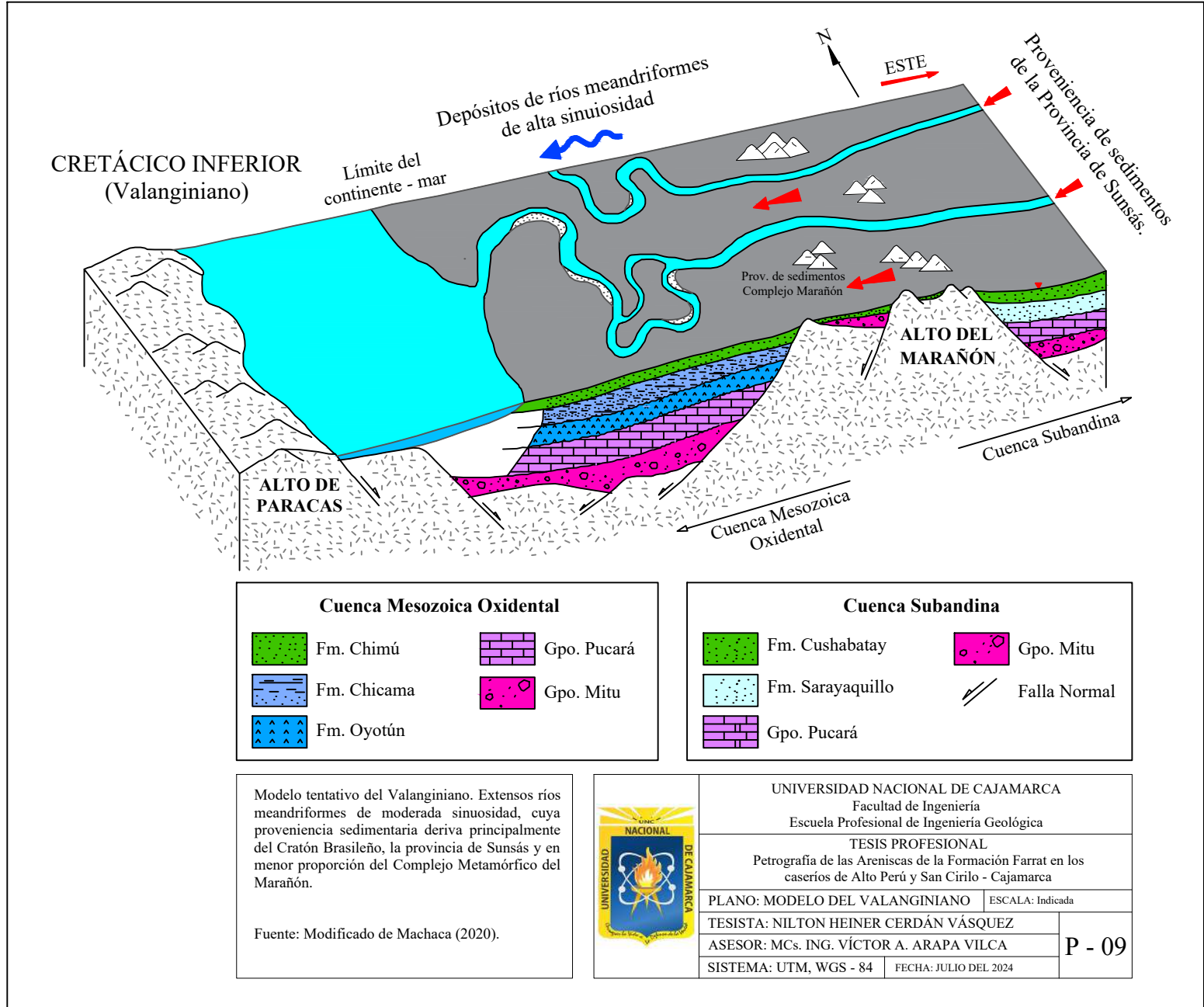
| | | |
|---|---|------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería Geológica | |
| | TESIS PROFESIONAL PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT EN LOS CASERÍOS DE ALTO PERÚ Y SAN CIRILO - CAJAMARCA | |
| | PLANO: PERFIL GEOLÓGICO | ESCALA: Indicada |
| | TESISISTA: NILTON HEINER CERDÁN VÁSQUEZ ASESOR: M.Cs. ING. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA | |
| SISTEMA: UTM, WGS - 84 | FECHA: JULIO DEL 2024 | P - 07 |



Modelo tentativo del Titoniano. Extensos ríos meandriformes de alta sinuosidad, cuya proveniencia sedimentaria deriva principalmente del Complejo Metamórfico del Marañón.

Fuente: Modificado de Machaca (2020).

| | | |
|---|---|--|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería Geológica | |
| | TESIS PROFESIONAL Petrografía de las Areniscas de la Formación Farrat en los caseríos de Alto Perú y San Cirilo - Cajamarca | |
| PLANO: MODELO DEL TITONIANO | ESCALA: Indicada | |
| TESISTA: NILTON HEINER CERDÁN VÁSQUEZ | P - 08 | |
| ASESOR: MCs. ING. VÍCTOR A. ARAPA VILCA | | |
| SISTEMA: UTM, WGS - 84 | FECHA: JULIO DEL 2024 | |



CRETÁCICO INFERIOR
(Valanginiano)

Límite del
continente - mar

Depósitos de ríos meandriformes
de alta sinuosidad

Proveniencia de sedimentos
de la Provincia de Sunsás.

Prov. de sedimentos
Complejo Marañón

ALTO DEL
MARAÑÓN

ALTO DE
PARACAS

Cuenca Mesozoica
Oxidental

Cuenca Subandina

Cuenca Mesozoica Oxidental

| | | | |
|--|-------------|--|-------------|
| | Fm. Chimú | | Gpo. Pucará |
| | Fm. Chicama | | Gpo. Mitu |
| | Fm. Oyotún | | |

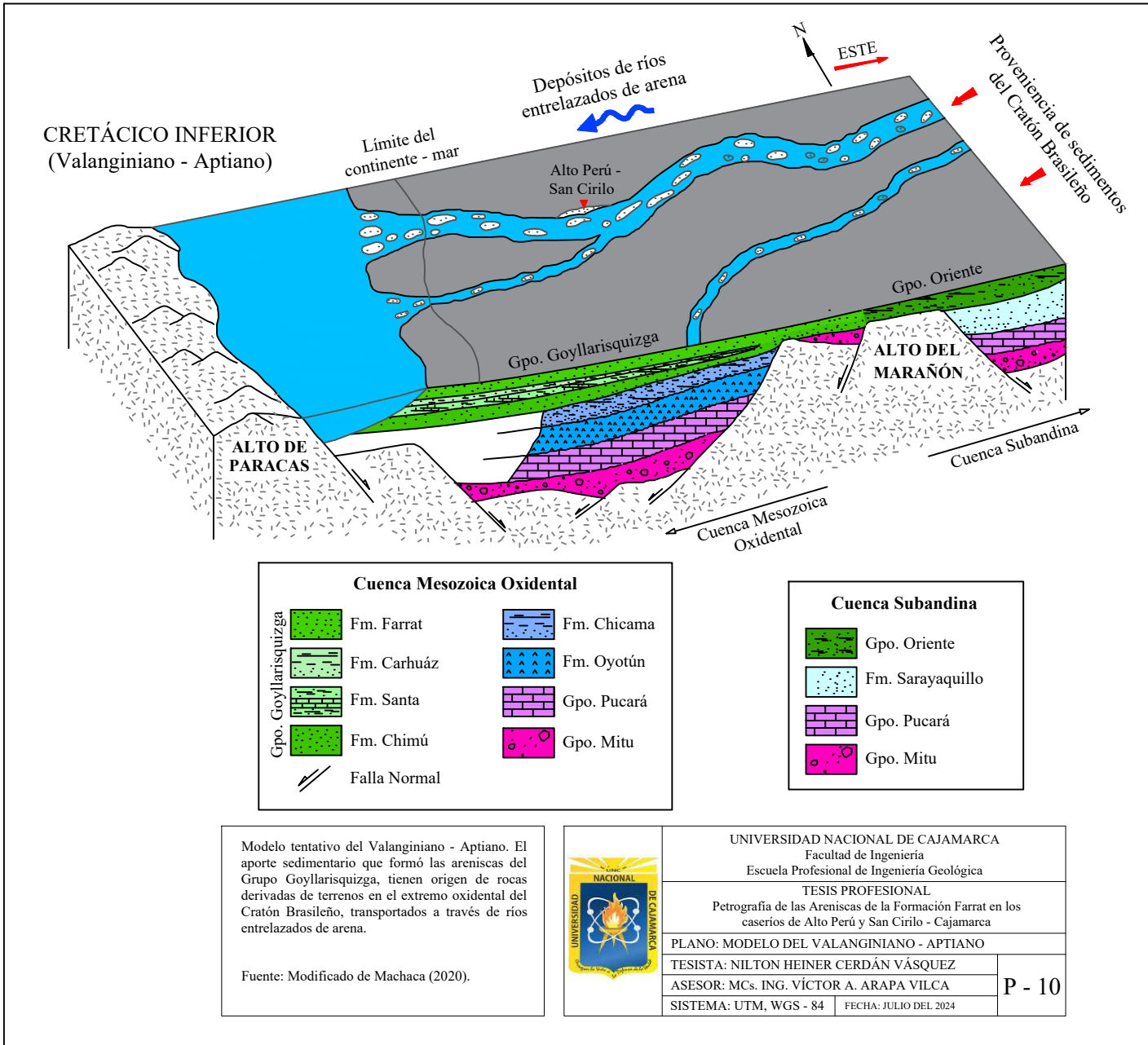
Cuenca Subandina

| | | | |
|--|------------------|--|--------------|
| | Fm. Cushabatay | | Gpo. Mitu |
| | Fm. Sarayaquillo | | Falla Normal |
| | Gpo. Pucará | | |

Modelo tentativo del Valanginiano. Extensos ríos meandriformes de moderada sinuosidad, cuya proveniencia sedimentaria deriva principalmente del Cratón Brasileño, la provincia de Sunsás y en menor proporción del Complejo Metamórfico del Marañón.

Fuente: Modificado de Machaca (2020).

| | | |
|---|---|------------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería Geológica | |
| | TESIS PROFESIONAL Petrografía de las Areniscas de la Formación Farrat en los caseríos de Alto Perú y San Cirilo - Cajamarca | |
| | PLANO: MODELO DEL VALANGINIANO | ESCALA: Indicada |
| | TESISTA: NILTON HEINER CERDÁN VÁSQUEZ | P - 09 |
| ASESOR: MCs. ING. VÍCTOR A. ARAPA VILCA | | |
| SISTEMA: UTM, WGS - 84 | FECHA: JULIO DEL 2024 | |



Cuenca Mesozoica Oxidental

| | | | | |
|----------------------|--|--------------|--|-------------|
| Gpo. Goyllarisquizga | | Fm. Farrat | | Fm. Chicama |
| | | Fm. Carhuáz | | Fm. Oyotún |
| | | Fm. Santa | | Gpo. Pucará |
| | | Fm. Chimú | | Gpo. Mitu |
| | | Falla Normal | | |

Cuenca Subandina

| | |
|--|------------------|
| | Gpo. Oriente |
| | Fm. Sarayaquillo |
| | Gpo. Pucará |
| | Gpo. Mitu |

Modelo tentativo del Valanginiano - Aptiano. El aporte sedimentario que formó las areniscas del Grupo Goyllarisquizga, tienen origen de rocas derivadas de terrenos en el extremo occidental del Cratón Brasileño, transportados a través de ríos entrelazados de arena.

Fuente: Modificado de Machaca (2020).

| | | |
|------------------------|--|---|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería Geológica | |
| | TESIS PROFESIONAL Petrografía de las Areniscas de la Formación Farrat en los caseríos de Alto Perú y San Cirilo - Cajamarca | |
| | PLANO: MODELO DEL VALANGINIANO - APTIANO | |
| | TESISTA: NILTON HEINER CERDÁN VÁSQUEZ | ASESOR: MCs. ING. VÍCTOR A. ARAPA VILCA |
| SISTEMA: UTM, WGS - 84 | FECHA: JULIO DEL 2024 | P - 10 |