



CONCENTRACIÓN DE BARITINA DE LOS YACIMIENTOS DE CUCHILLO CURÁ PARA LA INDUSTRIA PETROLERA

Trabajo Final presentado para obtener el título de
Licenciado en Tecnología Minera

BOILINI, Jérica Belén
Autora

Lic. PARRA, Hugo E
Director

Agradecimientos

Desde que era una nena, quería estudiar medicina. En el año 2005 llegue por ese motivo al Asentamiento Universitario Zapala, cursaba los sábados el examen de ingreso y los días de semana, me anote a la carrera de Minería (porque tenía materias afines; matemática, física y química). En diciembre, en la Facultad de Medicina en Cipolletti, me di cuenta que cambiaría el estetoscopio por un casco y una piqueta; no pase el examen.

Cuando les conté a mis papás que había decidido seguir adelante con la carrera de Minería, mi mamá recordó: que mi abuelo, Pedro Campos, trabajó en la extracción de carbón de la mina Santa Teresita de San Eduardo. Mis genes reconocieron la veta mineral y comencé a transitar el camino de la Licenciatura en Tecnología Minera.

Hoy después de muchos años finalizo esta etapa. Nada hubiese sido posible sin la ayuda de todos ustedes, por eso quiero expresar mi agradecimiento:

Al Licenciado Hugo Parra, Director de Tesis, por su valioso aporte en la corrección y guía del trabajo realizado. Gracias por el tiempo brindado y ayuda para concluirlo.

A la memoria de Jorge Venaruzzo, profesor y amigo, quien me guio en mis primeros pasos en la minería.

A los docentes que dictaron cada una de las materias de la carrera, secretarios administrativos y no docentes. Gracias por sus enseñanzas y por hacer del Asentamiento mi segundo hogar.

A los amigos y compañeros que cultive en el día a día, en especial a Pablo Moravchik, Matías Ferraro y Malén Morales.

A Graciela Bianchini, Directora del Asentamiento Universitario Zapala por las gestiones realizadas.

A la Ingeniera Carina Llarroque, con quien comenzamos este estudio y compartimos horas de trabajo. Mi agradecimiento por su gestión, ayuda y bondad.

A la Licenciada Carla Musso Perulán, gracias por su contribución en la identificación y

estimación de porcentajes de ley de baritina.

A la Doctora Mónica Rueda por la determinación de Fluorescencia de Rayos X.

A la Licenciada Laura Sanchez Directora del Centro de Investigación de Procesamiento de Minerales (CIPROMIN). Intemin – SEGEMAR por los ensayos en mesa de concentración.

A Eduardo Canales, quien con gran calidad humana y paciencia, me brindó tiempo y ayuda en los preparativos para los análisis químicos, perdida por calcinación y determinación de densidad.

A Raúl Fuentes, por trasladarnos en la salida de campo a Mina Achalay, Llao Llao y yacimiento Cerro Bandera. Por realizar junto a Miguel los ajustes que pusieron en funcionamiento la mesa concentradora.

Al Ingeniero Héctor Acevedo por los datos técnicos y ayuda para el funcionamiento de la mesa concentradora.

A Guillermo Hernández por compartirme sus conocimientos y bibliografía para la concentración en mesa.

A la Licenciada María Teresa Alarcón por proporcionar bibliografía fundamental para el ensayo en mesa concentradora.

A Carlos Mercado por su buena predisposición a mis consultas, y por facilitarme la utilización de las instalaciones del Laboratorio de Ensayos Físicos y Sala de Molienda de la Dirección Provincial de Minería de Neuquén.

A Ricardo Pereira por los datos brindados en ensayos de densidades de yacimiento Llao Llao.

A la Licenciada Susana Martinez Stagnaro por estar siempre dispuesta ante mis inquietudes.

A Mauro Gret dueño del yacimiento Achalay por permitir la visita. A Claudio Aravena y Rubén Monsalve trabajadores del yacimiento, quienes nos recibieron amablemente y nos ayudaron en el muestreo.

Al Licenciado Mauricio Cordi por gestionar la visita al equipo de perforación 365 de SAI (San Antonio Internacional) y aporte en el capítulo I. A Juan Zindek (DLS Archer) y Yuliana Morales

(Oilstone) que nos recibieron en el yacimiento y nos guiaron en la visita.

Al Geólogo Alberto Garrido, por su apoyo, aportes y corrección en el capítulo II. Por brindarme el espacio para concluir mi tesis como Director del Museo Provincial de Ciencias Naturales “Dr. Juan A. Olsacher” (MOZ), donde trabajo.

A mis compañeros del MOZ por su apoyo y aliento.

A Kelly, por su amistad y compañía desde 6^{to} grado.

A Pita, Hugo, Valeria, Donatella y Felicitas por su apoyo y cariño.

A mis papis Norma y Jorge, a mis seis hermanas Paula, Natalia, Macarena, Luana, Josefina y Catalina, a mis sobrinos Benjamín, Francisco, Jeremías, Zoe, Noah y Gianna; por su amor y apoyo constante.

A Jerónimo por enseñarme a creer en mí y mostrarme que las cosas estaban a la distancia del querer. Por su apoyo incondicional, paciencia infinita y compañía.

A Dios por guiarme en todo momento.

A todos los que me alentaron, apoyaron y compartieron mi camino durante este trabajo.

“Gracias totales!”

Índice General

Prólogo -----	7
Introducción-----	8
Capítulo I: La Baritina	
1.1 Descripción y Características -----	10
1.2 Usos-----	12
1.3 Características Técnicas de Comercialización-----	14
1.3.1 Baritina para Fluidos de Perforación-----	14
Capítulo II: Antecedentes	
2.1 Historia de los Yacimientos de Baritina de la Provincia del Neuquén-----	16
2.2 Ubicación de los Yacimientos de Baritina de la Provincia del Neuquén-----	19
2.3 Antecedentes Bibliográficos de los Yacimientos de Baritina de la Provincia del Neuquén---	22
2.4 Geología de la Cuenca Neuquina-----	24
2.4.1 Geología Regional -----	28
2.5 Descripción de los Yacimientos-----	30
2.5.1 Yacimiento Achalay-----	30
2.5.1.1 Historia del Depósito-----	30
2.5.1.2 Ubicación y Acceso -----	31
2.5.1.3 Producción y Reservas-----	32
2.5.1.4 Geología del Depósito-----	34
2.5.1.5 Mineralogía -----	37
2.5.2 Yacimiento Llao Llao-----	39
2.5.2.1 Historia del Depósito-----	39
2.5.2.2 Ubicación y Acceso -----	39

2.5.2.3 Producción y Reservas-----	40
2.5.2.4 Geología del Depósito-----	42
2.5.2.5 Mineralogía -----	43
Capítulo III: Ensayos	
3.1 Muestreo-----	46
3.2 Técnicas Analíticas-----	48
3.2.1 Preparación de las Muestras para Análisis Químico-----	48
3.2.2. Determinación Densidad de Baritina-----	50
3.2.3 Pérdida por Calcinación-----	51
3.2.4 Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X-----	53
3.3 Ensayo de Concentración-----	56
3.3.1 Conminución o reducción de tamaño -----	56
3.3.2 Clasificación por Tamaños Cuarteo de muestras-----	58
3.3.3 Determinación de Porcentaje de Baritina-----	62
3.3.3.1 Cuarteo de Muestras-----	62
3.3.3.2 Determinación de Porcentaje de Baritina en Lupa Binocular-----	63
3.3.4 Concentración Gravimétrica por Mesas Vibratorias-----	68
Cálculos de Criterio de Concentración según Taggart -----	71
3.3. 4. 1 Mesas vibratorias-----	71
3.3.4.2 Principio de Funcionamiento de la Mesa Concentradora-----	74
3.3.4.3 Movimientos de Partículas sobre el Tablero-----	75
3.3.4.4 Efecto de la Película de Flujo Laminar-----	76
3.3.4.5 Efecto de los Rifles-----	77
3. 3.4.6 Factores de Operación de la Mesa -----	79

3.3.4.7 Ensayo de Concentración en Mesa-----	81
3.3.4.7.1. Variables de Operación Mesa de Concentración-----	82
3.3.4.7.2 Descripción del Ensayo -----	84
Capítulo IV: Resultados	
4.1 Densidad de Baritina-----	87
4.2 Análisis Químico Multielemental -----	87
4.3 Clasificación Granulométrica y Determinación en Lupa Binocular-----	88
4.4 Criterio de Concentración según Taggart-----	91
4.5 Ensayo en mesa de concentración-----	92
Capítulo V: Conclusiones	
5. Conclusiones-----	96
Capítulo VI: Anexos	
6.1 Resultados Estimación de Porcentajes en Lupa Binocular-----	98
6.2. Informe Técnico Segemar Mesa de Concentración-----	103
6.2.1 Resultados Ensayo en Mesa de Concentración Segemar -----	105
6.3 Ensayo en Mesa de Concentración Alarcón, M. T (1.995) -----	107
Referencias -----	109

Prólogo

El presente trabajo final “Concentración de Baritina de los yacimientos de Cuchillo Curá para la industria petrolera” tiene como objetivo concentrar en mesa de concentración el mineral de bario proveniente del yacimiento Achalay y del yacimiento Llao Llao, ambos aflorantes en el anticlinal de la sierra de la Vaca Muerta, vinculadas a la Formación Auquilco. Dicho objetivo tiene como desafío concentrar un mineral de bario cuyas propiedades no constituyen las mejores del distrito mineralizado, que ha sido sobreexplotado y la baritina con densidad cercana a los valores establecidos por la Norma API (Instituto Americano del Petróleo) 13 A ya se extrajo, agotando reservas de este mineral.

El trabajo final se organizó en seis capítulos. El capítulo I, La Baritina, describe las cualidades físicas y químicas de la misma, su utilidad y características técnicas de acuerdo a las especificaciones para uso petrolero de acuerdo a la Norma API 13 A.

El capítulo II, Antecedentes, contiene la historia de los yacimientos de baritina de la Provincia del Neuquén, brindando información geológica de la Cuenca Neuquina donde se encuentran los yacimientos Achalay y Llao Llao.

El Capítulo III, Ensayos, describe la metodología utilizada desde la extracción de las muestras en campo hasta la concentración en mesa del mineral de bario, detallando cada uno de los análisis y ensayos necesarios para la concentración. Los resultados de los mismos son expuestos en el Capítulo IV, Resultados y se expresan las conclusiones en el capítulo homónimo Capítulo V, Conclusiones.

Al finalizar el trabajo se encuentra el Capítulo VI, Anexos, donde se detallan los datos de los minerales observados y sus porcentajes determinados en la observación en lupa, baritina, celestina, yeso, material lítico, presentados en tablas; el Ensayo en Mesa de Concentración Alarcón, M.T(1.995) y el Informe Técnico de Segemar.

Introducción

La Provincia del Neuquén presenta una historia muy rica cuando de la explotación de yacimientos de baritina se habla. Su actividad extractiva fue la más floreciente entre la década de los años 30 a los años 70, llegando a ser uno de los primeros productores nacionales, ya que aproximadamente un 80% de baritina era proveniente de esta provincia. La producción disminuyó, algunos yacimientos agotaron sus reservas y los que siguieron en actividad lo hicieron a baja escala.

En la actualidad aproximadamente el 85% de la baritina del mundo se utiliza en la industria del petróleo como uno de los componentes clave en el lodo de perforación para pozos de petróleo y gas. Los requerimientos técnicos para esta baritina de uso petrolero son tener una densidad entre $4.10 - 4.20 \text{ g/cm}^3$ y estar libre de contaminantes, como por ejemplo de calcio (CaCO_3), de acuerdo a lo establecido por la Norma API (Instituto Americano del Petróleo) 13 A.

En la actualidad la baritina utilizada en la industria del petróleo en la Provincia del Neuquén proviene de Bolivia, China e India.

Capítulo I

LA BARITINA

1.1 Descripción y Características

La composición química, en estado puro, de la Baritina (BaSO_4) es 34.30 % SO_3 , 65.70% BaO . El bario puede estar parcialmente sustituido por estroncio (Sr) en una serie continua de solución sólida desde baritina a celestina. Es un mineral no metálico. Su principal característica es ser un material de alto peso específico, llegando a ser de hasta 4.5 gr/cm^3 , siendo ésta última peculiaridad de donde proviene su nombre, que es de la palabra griega, baros, que significa pesado. Cuando contiene materia orgánica, se ve afectada esta característica, bajando su densidad a valores de entre 3.9 a 4.15 gr/cm^3 , por la cantidad de arcilla que contiene entrampada en sus intersticios.

Se encuentra generalmente en cristales bien formados, pero también en concreciones globulares y agregados terrosos.

Imagen 1.1.

Mineral de Baritina



Imagen 1.2.

Muestra de baritina de la Provincia del Neuquén, perteneciente al Museo Olsacher Zapala.



En ocasiones es incolora y límpida, pero igualmente puede presentar tonalidades blanquecinas o diversamente coloreadas, que van del amarillo miel, pasando por el rosado, hasta el azul celeste. Esto es producto de la mezcla mecánica de impurezas en su estructura.

En la naturaleza se forma baritina cuando hay elevada presión parcial de oxígeno y temperatura relativamente baja. Su origen no es ígneo, ni tampoco ocurre por metamorfismo de contacto; yace como material de relleno en rocas sedimentarias. Es un mineral que se encuentra en depósitos evaporíticos. También se relaciona a procesos volcanogénicos y de precipitación química.

La baritina es poco soluble en agua, la presencia de cloruros o incremento de su temperatura, aumenta su solubilidad. La causa más probable de precipitación de baritina sería por oxidación o reducción de sulfuros o sulfatos en soluciones que contengan bario. De

origen marino o continental, pueden ser las soluciones que contienen bario, diferenciándose por el mayor contenido de torio (Th) las de fondo marino. “Así, la baritina formada en el fondo marino posee aproximadamente 34 ppm de Th mientras que las de origen continental tienen un contenido aproximado de 0,1 ppm de Th” (Depósitos de minerales industriales de la República Argentina, 2.004).

Comúnmente se encuentra como ganga en los depósitos de minerales metalíferos. Sus yacimientos se asocian con pirita, cuarzo, carbonatos, minerales de zinc y fluorita.

De la alteración de la baritina se obtiene como producto whiterita (BaCO_3), un carbonato de bario. Puede ser reemplazada pseudomórficamente por carbonatos, sulfatos y sulfuros.

1.2 Usos

La evolución histórica de su uso ha seguido el progreso tecnológico. Debido a su densidad, se usa en los barros (lodos) de perforación de pozos petroleros. La industria petrolera consume el 85% de la producción mundial de baritina. El 15% restante está distribuido en la industria química, industria del vidrio, pinturas y otros usos.

Se utiliza baritina comúnmente como agente densificante para todos los tipos de fluidos de perforación; son extraídas de muchas zonas del mundo y se envían como mineral a plantas de trituración en lugares estratégicos, donde se acondicionan de acuerdo a la Norma API (Instituto Americano del Petróleo) especifica su trituración a un tamaño de partícula de 3 a 74 micrones. El sulfato de bario puro tiene una gravedad específica de $4,50 \text{ g/cm}^3$, no obstante para cumplir con las especificaciones de la Norma API, la baritina para perforación debe tener una densidad mínima entre $4,10\text{-}4,20 \text{ g/cm}^3$. Se agrega baritina molida al lodo de perforación para aumentar su densidad. Esto se hace para evitar que el petróleo a alta presión que se encuentra durante la perforación expulse el lodo del pozo perforado y se entile a la superficie donde podría incendiarse o derramarse accidentalmente.

También es elegida debido a su inercia química y su baja dureza Mohs, que limita el desgaste de las brocas, la tubería de perforación y otros equipos. Junto con la bentonita, la baritina también puede ayudar a sellar y revestir la pared del hueco de perforado para evitar la pérdida de líquido en el pozo.

Imagen 1.3.

Baritina para uso petrolero



La industria química aprovecha la baritina para la fabricación de numerosos productos como son el sulfuro de bario, sulfato de bario puro, carbonato de bario, óxido e hidróxido de bario, cloruro de bario, nitrato de bario, el litopón, que es un compuesto formado por sulfuro de bario y sulfato de zinc, entre otros. (Imagen 1.4).

Algunos de estos compuestos químicos se usan en la industria en múltiples usos, para dar carga, suavidad y brillo a las pinturas; como pigmento de bario; en la industria del caucho para neumáticos y otras gomas de usos múltiples; para distintas clases de vidrios blancos, especialmente tubos fluorescentes, pantallas y bulbos de lámparas.

Se emplea como carga en la fabricación de papeles especiales de ilustración y fotografía. En la industria farmacéutica, para la elaboración del "milk shake".

Imagen 1.4.

Baritina para uso en la industria química



1.3 Características Técnicas de Comercialización para la Industria Petrolera

1.3.1 Baritina para Fluidos de Perforación

La baritina empleada para fluidos de perforación en la industria petrolera debe cumplir las especificaciones técnicas de la Norma API (Instituto Americano del Petróleo) 13 A, que establece los requisitos mínimos respecto de densidad, finura y características químicas.

Tabla 1.1.

Requerimientos físicos y químicos para baritina según Especificación API 13 A 2019, pág 16

Requisitos físicos y químicos de Baritina	
Densidad	4.10 a 4.20 g/cm ³ mínimo
Dureza soluble (como calcio)	250 mg/Kg máximo
Residuo>75μ (pantalla húmeda)	3% en peso, % máximo
Partículas>6μ (sedimentación)	30% en peso, % máx.

Capítulo II

ANTECEDENTES

2.1. Historia de los Yacimientos de Baritina de la Provincia del Neuquén

La actividad extractiva de los yacimientos de baritina Neuquinos, comienza de manera casi ininterrumpida desde fines de los años treinta hasta los ochenta. El ferrocarril transportaba el mineral desde la ciudad de Zapala hasta sus destinos.

Afines de 1.938 a unos 55 kilómetros de la ciudad de Zapala, se encontraban en pleno desarrollo las minas de baritina del grupo Río Agrio y Achalay en el distrito Mallín Quemado, propiedad de la Cía. Togon Min. Ind. S.R.L. La extracción de ambas minas se realizaba de manera manual y primitiva, se seleccionaba de según su grado de pureza en mineral de primera y segunda clase. “La producción de estas minas fue de 646 t durante el año 1.939, entre mineral de primera y segunda clase, y de 1.407 t para el año 1.940 distribuidas así: minas “Río Agrio” ,707 t, y “Achalay” 700 t” (Angelelli, 1.941, p. 16). El destino de la producción fue: 600 t para la inyección en perforaciones, 100 t para la fábrica de cloruro de bario y 707 t para la industria de la pintura.

Progresivamente fueron aumentando las explotaciones de baritina en otras regiones del territorio Neuquino, sumándose en poco tiempo las de Bajada del Agrio, entre las que se destacó la mina Santa Bárbara.

Por su parte, la Cía. Minera Continental, titular de varios yacimientos al oriente de la Pampa del Salado, 150 km al norte de Zapala, explotaba allí las minas La Lusitana, La Nicolasa y SanJosé, en las que llegaron a emplearse unos 30 operarios.

Cerca de Loncopué las minas del grupo Campana Mahuida y la mina La Rosita extraían con un régimen de producción anual del orden de las 1.700 toneladas. A pocos kilómetros de Chos Malal, sobre la margen izquierda del arroyo Curileuvú, se comenzaba la exploración de las minas 4 de Junio y Santa Elena.

A fines de 1.949, se despacharon por ferrocarril desde Zapala poco más de 12.000 toneladas de baritina, provenientes de unos 10 yacimientos de distintas firmas

productoras. (Danieli y Casé, 2.004, p 240)

Durante la década del 50 y como consecuencia de la gran expansión que adquirió la exploración petrolífera en la Cuenca Neuquina se intensificó la explotación de baritina en la Provincia del Neuquén.

Fueron los años del descubrimiento y la puesta en producción de la mina Arroyo Nuevo de la firma Sapag Hnos., importante depósito de baritina ubicado unos 40 km al NO de Chos Malal, en el paraje Cura Mallín. Angelelli (1.976) afirma que su explotación durante varios años se mantuvo a un régimen de 1.800-2.000 toneladas mensuales, que era destinada a en su casi totalidad como medio denso en la inyección de pozos petrolíferos (p.40).

La producción de la mina Arroyo Nuevo sumada a la de los yacimientos de Gret Hnos. en Coli Pilli, incrementó sensiblemente la producción de baritina en la Provincia del Neuquén, la que ocupó durante mucho tiempo el primer puesto en el país, con una participación de 70 a 80% de la producción nacional.

Tabla 2.1

Producción minera de Baritina (Angelelli et al. 1976).

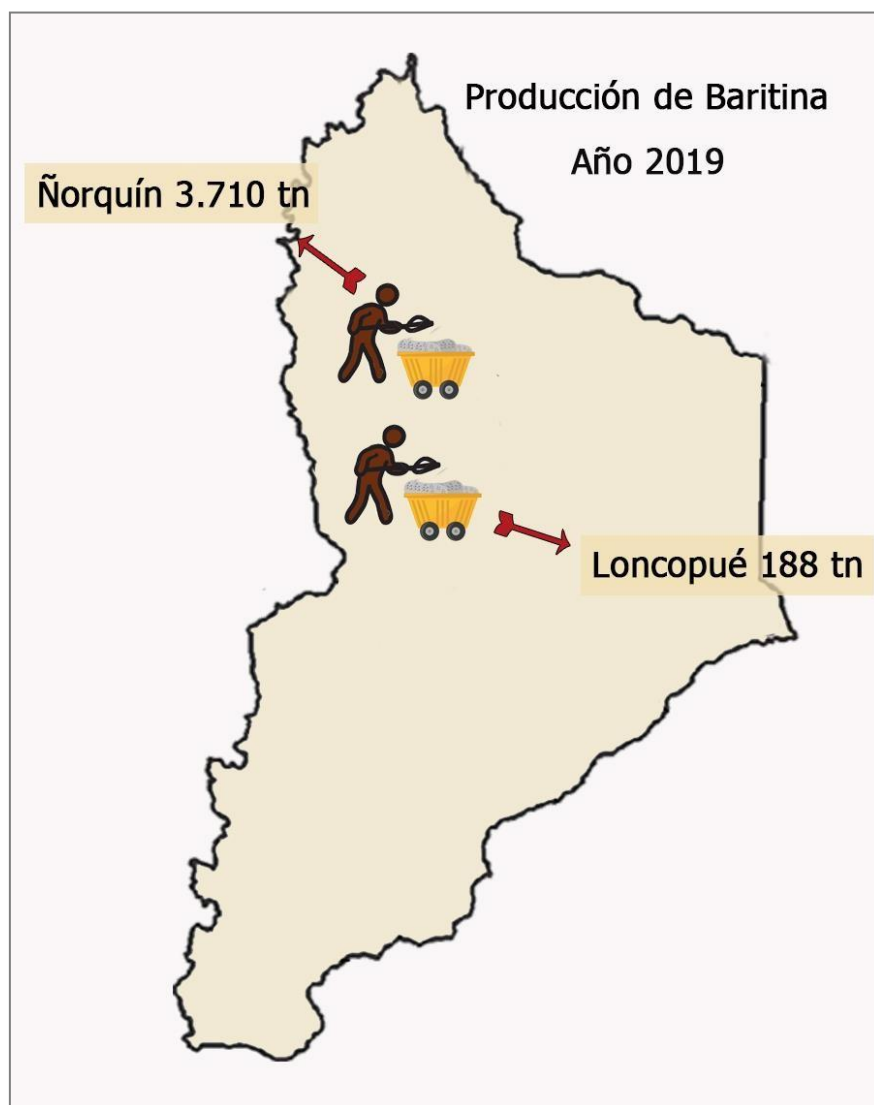
Producción minera de Baritina entre los años 1966 - 1975	
Año	Toneladas de producción Baritina
1966	12.673
1967	15.057
1968	17.367
1969	23.137
1970	23.281
1971	17.038
1972	18.520
1973	21.255
1974	28.655
1975	28.733

A mediados de los años 80, Minera TEA, titular de los yacimientos de baritina del grupo Río Agrio, en Mallín Quemado, instaló en la mina una planta de concentración para aprovechar intensivamente nuevas reservas de mineral. La actividad en mina y planta se mantuvo por espacio de 5 a 6 años empleándose en estos trabajos 35 a 40 personas.

De acuerdo a los datos de estadísticos mineros de la Provincia del Neuquén en el año 2019 la producción fue de 3.898 t anuales, de las cuales 3.710 t fueron extraídas de los yacimientos del departamento Ñorquín y 188 t del departamento Loncopué.

Mapa 2.1

Producción de baritina en el año 2019.



En el período 2020-2022, según datos extraídos de la última estadística minera realizada por la Dirección Provincial del Minería del Neuquén, no se registran yacimientos activos.

Tabla 2.2

Estadística Minera 2020, Dirección Provincial de Minería del Neuquén.

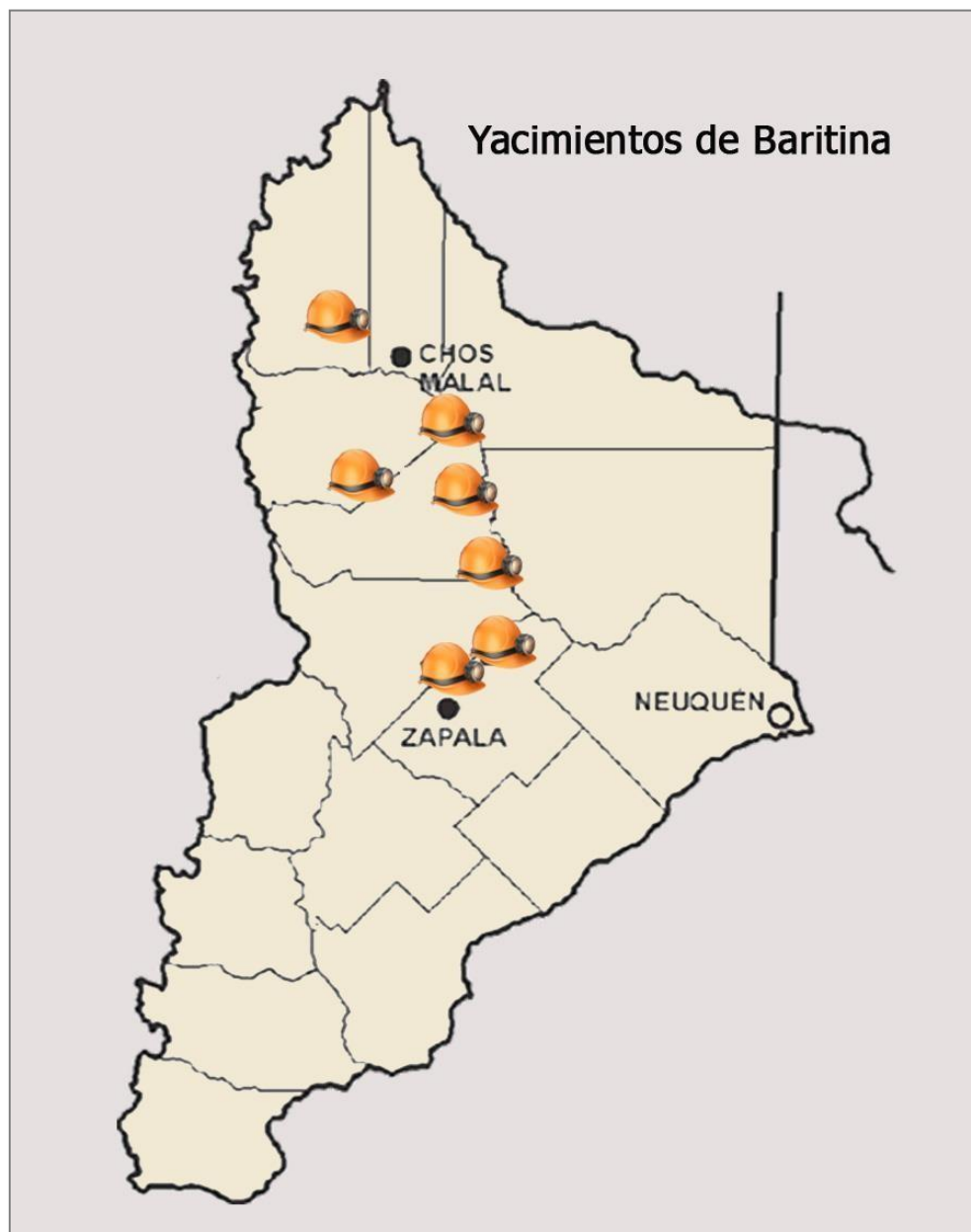
Producción minera de Baritina entre los años 2013 -2022	
Año	Toneladas de producción de Baritina
2013	25.744
2014	14.365
2015	11.017
2016	12.389
2017	5.977
2018	7.225
2019	3.898
2020 - 2022	0

2. 2 .Ubicación de los yacimientos de baritina de la Provincia del Neuquén

En la provincia del Neuquén los yacimientos de baritina se distribuyen en una faja de rumbo norte-sur, entre las localidades de Zapala y Chos Malal. Antiguamente conformaban el distrito barítico — celestinico emplazado en una superficie de 160 x 180 kilómetros, que entre los principales se mencionan las minas siguientes: “Arroyo Nuevo”(departamento Minas); “San Eduardo” y “ La Bienvenida”(Departamento Ñorquín); “Mabel”, “La Rosita”, “Churrica” y “Florcititas” (Departamento Loncopué); grupo “ Santa Barbara”, “La Porfía”, “4 de Noviembre” y “Grupos Achalay”, “ LLao Llao” y “Rio Agrio” del Cerro Mallín Quemado (Departamento Picunches),Mapa 2.2.

Mapa2.2

Faja rumbo norte – sur de los yacimientos de baritina

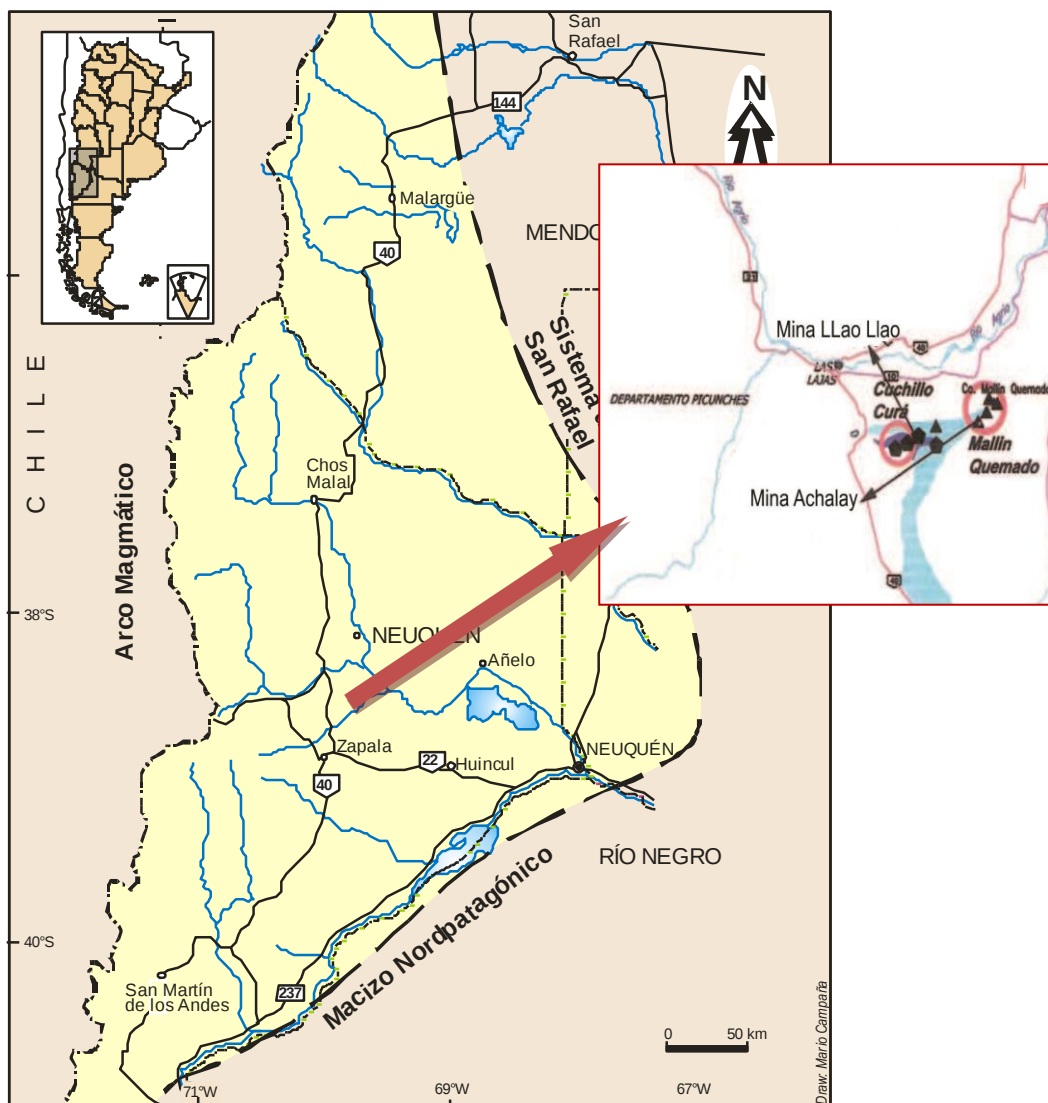


De los yacimientos de baritina ubicados en la Provincia del Neuquén, se seleccionó para el presente estudio, “Concentración de baritina de los yacimientos de Cuchillo Curá para la industria petrolera “.El yacimiento Achalay y el yacimiento Llao Llao, los mismos ubicados en el Cordón del Cuchillo Curá, en el Departamento Picunches de la Provincia del Neuquén, (Mapa 2.3).

Estos yacimientos se eligieron por la cercanía geográfica entre ambos y la accesibilidad brindada por los dueños de los yacimientos para realizar la visita de campo y recolectar muestras.

Mapa 2.3:

Ubicación yacimiento Achalay y yacimiento Llao Llao, Departamento Picunches, Provincia del Neuquén.



2.3. Antecedentes Bibliográficos de los Yacimientos de Baritina de la Provincia del Neuquén

Los estudios de las mineralizaciones comenzaron siendo descriptivas y geoeconómicas, en el año 1.964 y luego fueron orientadas a fines de resolver aspectos genéticos. Datos analíticos de 1.978, señalan un contenido de SO_4Ba en los yacimientos que oscila en términos generales, entre 65% y 90% yacimiento “4 de Noviembre” con algunas décimas hasta 1,5 % de SO_4Sr yacimiento Mallín Quemado. Bajo porcentaje en SiO_2 en depósitos estratiformes y mayor en los vetiformes, relación que se invierte en cuanto a la existencia de CO_3Ca que, en el caso de los primeros, alcanza valores de hasta más del 30 % (“4 de Noviembre”).(Angelelli y Schalamuk 1.978).

Autores como Hayase y Bengoechea 1.975, sostienen una génesis epigenética asociada a soluciones hidrotermales magmáticas, mientras que los de morfología mantiforme son producto de reemplazo selectivo de capas de caliza por baritina y celestina.

Brodtkorb y Danieli (2011), proponen que los depósitos de baritina pueden estar asociados a procesos volcanogénicos o de precipitación química, mientras que los de celestina son producto de procesos de evaporación y diagénesis. La deposición estuvo relacionada a las Formaciones Tábanos, Auquilco y Huitrin. “Asimismo, los procesos tectometamórficos y la acción de los intrusivos diorítico- andesíticos del Grupo Molle, han modificado con diferente intensidad a los yacimientos minerales generando cuerpos vetiformes y otras removilizaciones”,(Mapa 2.4).

Autores como Escobar proponen lo siguiente:

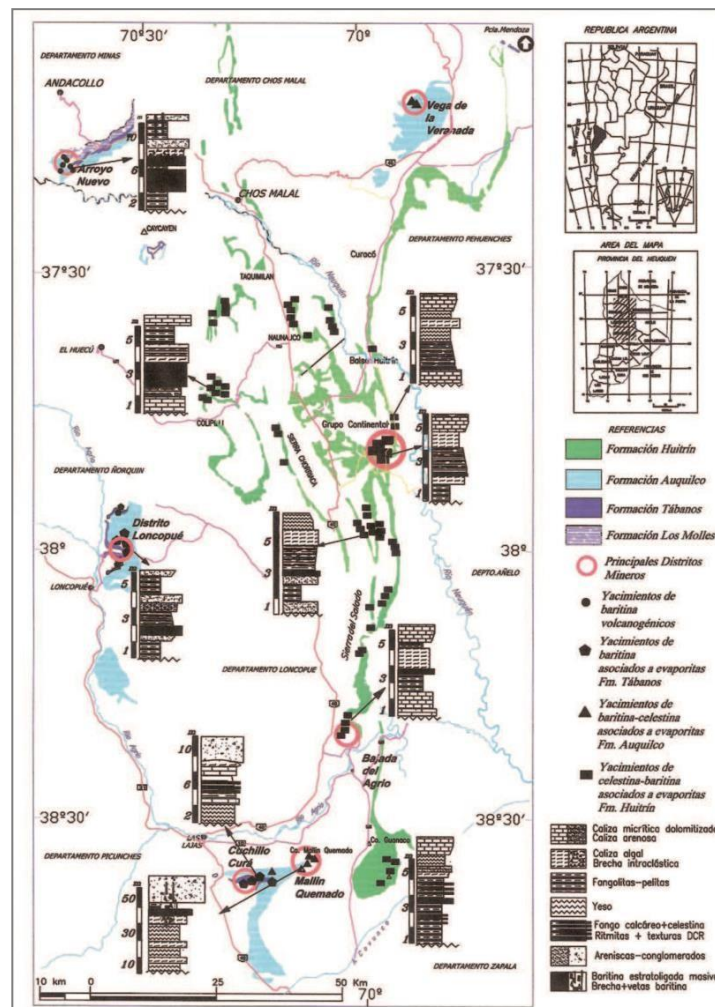
Las salmueras cuencales, con moderada a elevada salinidad, lixiviaron de la pila sedimentaria los elementos metálicos (esencialmente Ba y Sr de rocas silicoclásticas y Carbonáticas) y el azufre (proveniente de los niveles yesíferos evaporíticos). A su vez, estos fluidos deben haber circulado a través de las estructuras falladas y

plegadas activas. Cuando las condiciones físico-químicas fueron favorables, se propició el reemplazo y depositación fundamentalmente de especies sulfatadas de Sr y Ba, generándose paragénesis simples prácticamente monominerálicas de baritocelásticas o celestobaritinas. Por otro lado, la procedencia del Pb en los depósitos vetiformes podría estar posiblemente relacionada a las secuencias pelíticas de interior de cuenca (Fm Vaca Muerta, Fm los Molles y otras). En cuanto al origen del azufre de los sulfuros se considera que está relacionado tanto a procesos de reducción bacteriana del sulfato (BSR), como a reducción termoquímica del sulfato (TSR).

(Escobar, 2.016. p 174)

Mapa 2.4.

Ubicación de los principales distritos de Baritina y secuencias litológicas tipo (Brodtkorb y Danieli, 2011)



2.4. Geología de la Cuenca Neuquina

La cuenca Neuquina se localiza entre los 30° y 40° de latitud sur, ocupando un área aproximada de 120.000 km² (Yrigoyen, 1991). Presenta una estratigrafía caracterizada por un relleno sedimentario Jurásico - Cretácico, donde puede observarse una alternancia entre secuencias litológicas marinas y continentales. Abarca la provincia del Neuquén, sector occidental de La Pampa y Río Negro y la porción meridional de la provincia de Mendoza.

Limita al noreste y sudeste con el Sistema de la Sierra Pintada y el Macizo Nordpatagónico; al oeste con una estructura de arco volcánico.

Mapa 2.5.

Reconstrucción paleogeográfica de la Cuenca Neuquina Jurásico-Cretácica (Garrido2005)

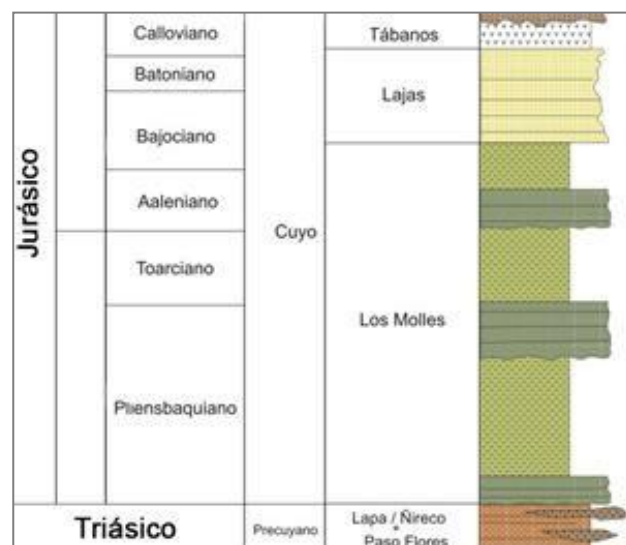


Con el denominado Ciclo “Precuyano” (Gulisano et al., 1984) se da inicio durante el Triásico Medio-Superior a la sedimentación en la Cuenca Neuquina. Estos depósitos se componen de sedimentitas y piroclastitas continentales de las Formaciones Paso Flores (Fossa Mancini, 1937) y Lapa (Leanza y Blasco, 1991). En la fase del Ciclo “Jurásico” el mar invade desde el oeste y noroeste, formando un engolfamiento de gran extensión hacia el este desde el Hettangiano hasta el Oxfordiano superior. Dicho intervalo puede ser subdividido en dos sub ciclos denominados “Cuyano” y “Loteniano-Chacayano”.

El Grupo Cuyo integrado por las formaciones que abarcan la totalidad de los depósitos entre el Hettangiano y el Caloviano medio, conformando una secuencia de aproximadamente 2.500 metros de potencia de sedimentitas detríticas, gradando los rellenos de marinos profundos a continentales. Está constituido por niveles clásticos de ambiente continental (Formaciones Punta Rosada y Challacó) y marinos (Formaciones Lajas y Los Molles); durante este sub ciclo la máxima expansión del mar ocurre en tiempos del Pliensbaquiano; posteriormente el área de sedimentación marina comienza a retraerse para culminar con un período de restricción durante el cual se produce la deposición de los niveles evaporíticos de la Fm. Tábanos.

Figura 2.1.

Perfil central de la Cuenca, Precuyano y Cuyo, extraído de Garrido 2005



El Ciclo Loteniano-Chacayano integrado principalmente por afloramientos sobre la franja occidental de la provincia del Neuquén, continuando hacia el oriente en subsuelo. La Formación Lotena y Barda Negra corresponde a la fase inicial constituida por sedimentos clásticos y carbonáticos, representando un ciclo transgresivo- regresivo durante el que se depositaron calizas arrecifales en la base de la Formación La Manga.

Finalizando transicionalmente con evaporitas de la Formación Auquilco, denominado también Yeso Principal.

Figura 2.2:

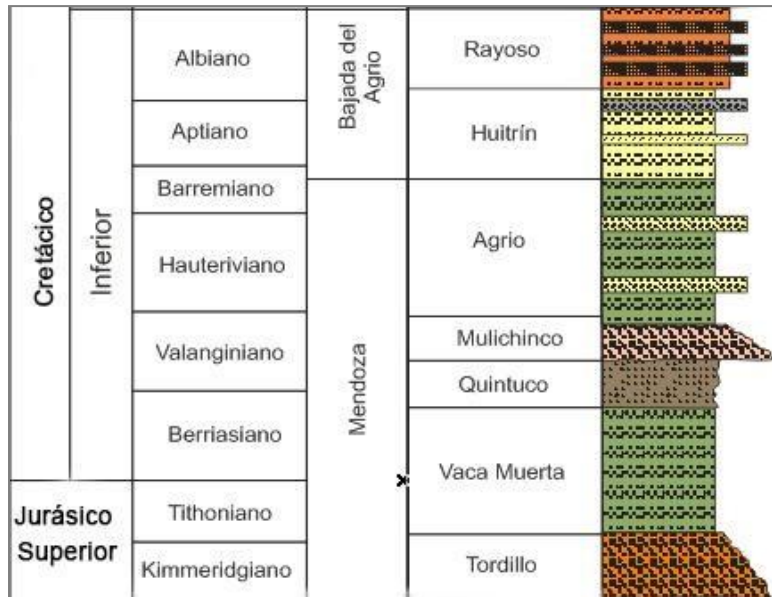
Perfil central de la Cuenca, Grupo Lotena, extraído de Garrido 2005



El Megaciclo Ándico (Groeber, 1946) se encuentra integrado por una nueva sucesión de depósitos marinos y continentales de aproximadamente 3.000 m de espesor, incluidos temporalmente entre el Kimmeridgiano (Jurásico Superior) y el Albiano (Cretácico Inferior). El Grupo Mendoza, representado en su base por la Formación Tordillo, caracterizada por una sedimentación continental. La Formación Vaca Muerta representa un importante volumen de sedimentitas carbonáticas; culminando con depósitos marinos someros Formaciones Loma Montosa y Quintuco. Luego de un importante descenso del nivel del mar deposita en los sectores más deprimidos una litofacies clástica continental conocida como Fm. Mulichinco. Sobre la misma se produce una nueva ingresión marina durante el Hauteriviano (Formaciones Agrio — Centenario), Figura 2.3.

Figura 2.3

Perfil central de la Cuenca, Grupos Mendoza y Bajada del Agrio, extraído de Garrido 2005



A lo largo del Cretácico Superior se desarrolla en la cuenca un grueso paquete de sedimentitas continentales fluviales correspondientes al Ciclo Neuqueniano.

El Grupo Neuquén alcanza un espesor máximo de 1.200 m, queda compuesto litoestratigráficamente por tres subgrupos y nueve formaciones. El Subgrupo Río Limay comprende a las Fms. Candeleros y Huincul.

Figura 2.4.

Perfil central de la Cuenca, Grupos Neuquén y Malargüe, extraído Garrido 2005



El Subgrupo Río Neuquén comprende a las Fms. Cerro Lisandro, Portezuelo, Los Bastos, Sierra Barrosa y Plottier, conformando una sucesión alternante de unidades psamíticas y pelíticas de origen fluvial, desarrolladas principalmente bajo control climático. Finalmente el Subgrupo Río Colorado integrado por las Fms. Bajo de la Carpa y Anacleto, comprende a depósitos fluviales desarrollados bajo un nuevo control tectónico dominante (Garrido 2010). Hacia finales de la depositación del Grupo Neuquén se produce la inversión de la pendiente regional de la cuenca, posibilitando el ingreso del Océano Atlántico y el comienzo de la depositación del Grupo Malargüe.

2.4.1 Geología Regional

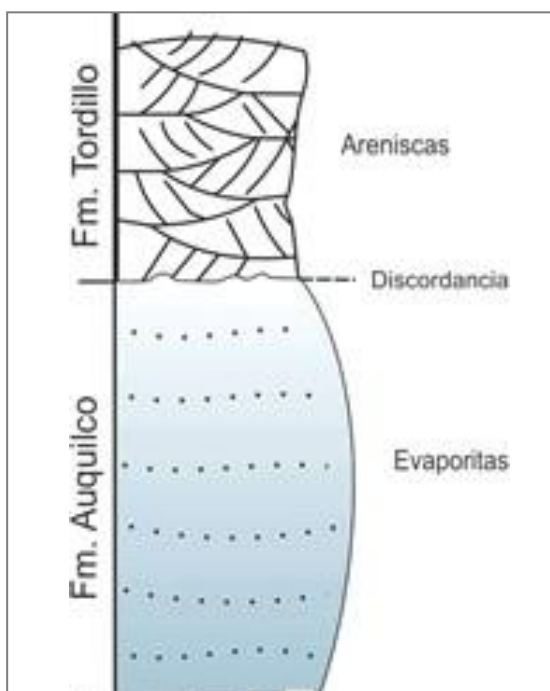
Los depósitos de Bario y Estroncio comparten características geológicas y mineralógicas. Se las asocia a facies carbonáticas, pelíticas y yesíferas. Sujetas al control estructural producto de los distintos eventos de deformación que sufrió la secuencia sedimentaria mesozoica. Encontramos las mineralizaciones en forma de mantos, bolsones rellenando cavidades, cuerpos irregulares cementando brechas y en vetas asociadas a sulfuros. “Las principales unidades sedimentarias que hospedan las mineralizaciones mantiformes son las Formaciones Tábanos (Calloviano), Auquilco (Oxfordiano) y Huitrín (Barremiano-Albiano), mientras que en las Formaciones Tordillo, Lotena y Agrio se encuentran emplazados cuerpos vetiformes” (Escobar et al, 2016).

Tienen distintos orígenes, pudiendo ser volcanogénicos o de precipitación química. Se los relaciona así mismo con los de estroncio, que tienen como origen procesos evaporíticos de diagénesis, con diversos grados de removilización y metamorfismo. La sucesión de episodios tectometamórficos y la acción de intrusivo del Grupo Molle, han modificado los yacimientos minerales. Se relaciona estos yacimientos a las secuencias de los ciclos evaporíticos marinos, donde se encuentran los depósitos de baritina, celestina, yeso, halita y sales de potasio.

En el perfil sin escala del yacimiento Achalay, los niveles de sulfatos se presentan mantiformes en la Formación Auquilco de edad oxfordiana perteneciente al Grupo Lotena. La tectónica en combinación con la plasticidad del banco de yeso infrayacente a las areniscas de la Formación Tordillo configura la complicada estructura de este yacimiento.

Figura 2.5.

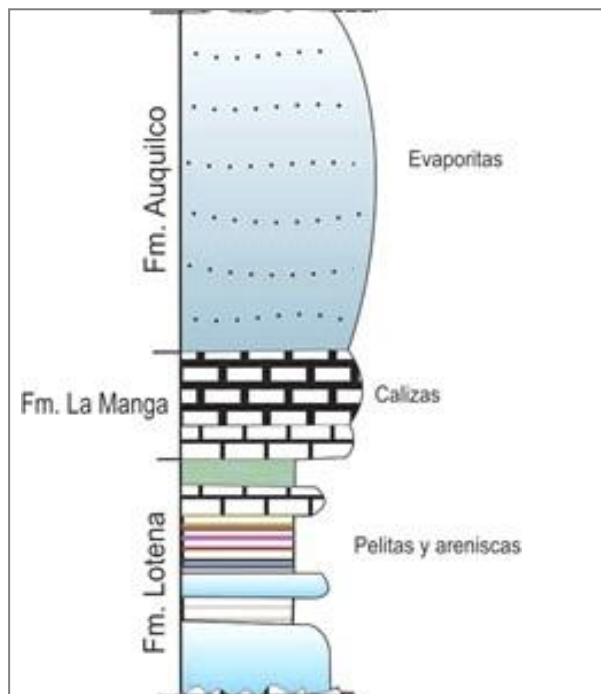
Esquema columna estratigráfica yacimiento Achalay



En el yacimiento Llao Llao en el perfil sin escala, se observa comienza con las areniscas y pellitas de la Formación Lotena, le sigue las calizas de la Formación La Manga. La mineralización de baritina se encuentra en una sucesión evaporítica blanquecina que litológicamente está compuesta por calizas organógenas laminadas con nódulos de anhidrita y yeso perteneciente a la Formación Auquilco (Figura 2.6).

Figura 2.6.

Esquema columna estratigráfica yacimiento Llao Llao.



2. 5. Descripción de los Yacimientos

2.5.1 Yacimiento Achalay

2.5.1.1 Historia del Depósito

La actividad del yacimiento Achalay data del año 1.935, dando inicio a la minería en Cerro Mallín Quemado. Su primera solicitud legal fue un cateo, como mina de plomo. Los trabajos iniciales se realizaron de manera subterránea y por rajos longitudinales a las estructuras vetiformes, a cargo de la compañía Togon SRL.

Los volúmenes de explotación fueron incrementándose a partir de mediados de la década del 50, hasta la década del 60 (Lyons, 1.975). La incipiente explotación se sustentó en el descubrimiento de un sector de mena masiva, denominado tubo. Luego la actividad mermo y continuo hasta la década del 80, donde se hizo cargo del yacimiento la empresa Minera Tea hasta el año 1.992. En el año 2.018 la familia Gret continuó con la explotación de la mineralización aflorante en las galerías (Imagen 2.1)

En la actualidad el yacimiento se encuentra inactivo, según datos extraídos de la última estadística minera de la Dirección Provincial del Minería del Neuquén, para el periodo 2.020-2.022.

Imagen 2.1

Yacimiento Achalay.



2.5.1.2 Ubicación y Acceso

El yacimiento Achalay se encuentra en el departamento Picunches de la provincia del Neuquén, en el extremo nordeste del Cordón del Curymil, en el anticlinal de la Sierra de la Vaca Muerta. Para acceder a la misma, se recorren 42 kilómetros por la ruta Nacional N° 40, desde la ciudad de Zapala en dirección a la localidad de Las Lajas llegando al acceso a la huella minera que recorre los yacimientos y canteras en el cordón de Cuchillo Curá, recorriendo por ella unos 20 Km para llegar a la pertenencia minera denominada Mina Achalay.

Figura 2.7

Ubicación yacimiento Achalay



2.5.1.3 Producción y Reservas

La explotación del yacimiento fue realizada en distintas etapas y con diferentes métodos de extracción minera, se comenzó en la veta del yacimiento Achalay por rajos superficiales, luego a labores subterráneas cuando se descubrió el manto en el sector suroeste del yacimiento, utilizando el método de cámaras y pilares, que más tarde se combinó con corte y relleno para la explotación de la mena masiva. Finalmente se continuó la explotación a cielo abierto, tanto en el manto como en la mineralización brechada.

Según Leveratto (1.982) hasta comienzos del año 1.970 se extrajeron 250.000 t de mineral. Navarro (1.983) consigna el dato de 50 t de mineral extraído por día para su uso en la industria petrolera.

“Las reservas de este yacimiento son reducidas, quedando circunscriptas principalmente al manto brechado en su porción occidental, sector que fuera explotado por la empresa Togón SRL. El sector oriental del depósito, donde se centró la explotación de Minera TEA SAMICAF, se encuentra prácticamente agotado” (Del Blanco, M.A y M Barbieri, 1.999).

Los últimos datos de posibles reservas remanentes son de Brodtkorb y Danieli 2.011, “dentro de los laboreos existentes estarían circunscriptas a las brechas y manto del sector oeste aunque su elevado contenido en cuarzo limita las posibilidades de explotación”.

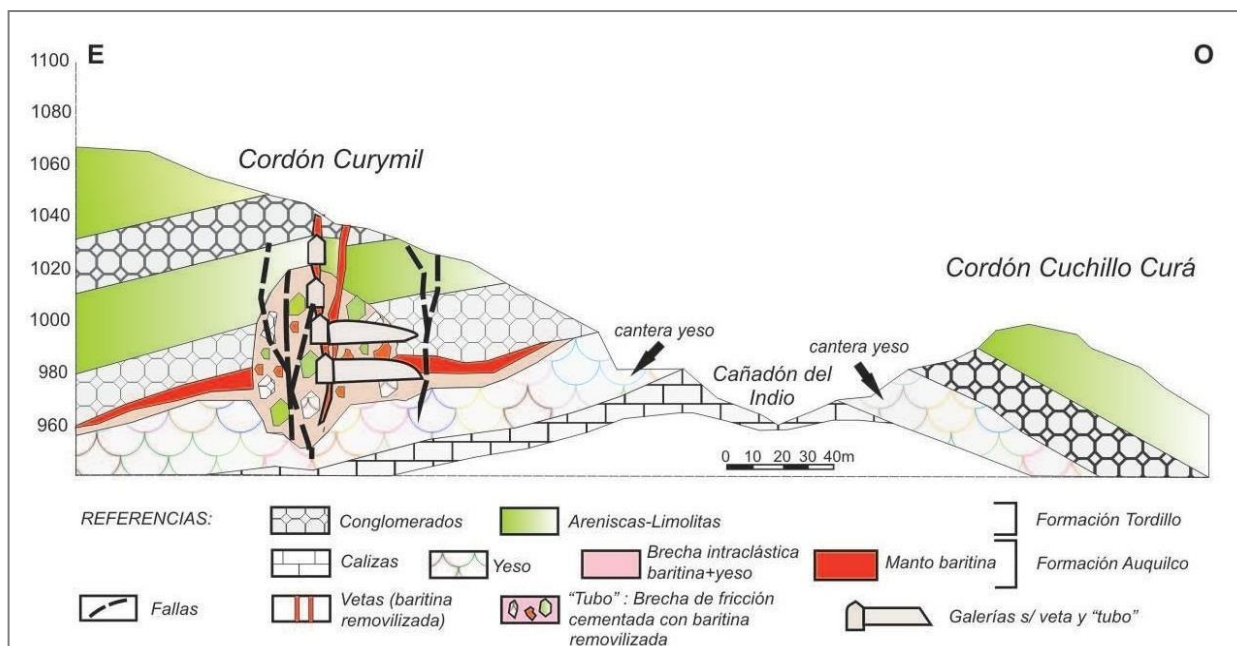
Tabla 2.3.

Características físicas y químicas de la baritina del yacimiento Achalay

Achalay	Densidad	%BaSO ₄	%SiO ₂	Referencias
Veta	4.33 g/cm ³	90	3	Oliveri et al, 1.964
Manto	4.26 g/cm ³	87	4.2	
Manto	4.04 – 4.33 g/cm ³	70-75		Leveratto,1.982

Figura 2.8.

Perfil esquemático Yacimiento Achalay Brodtkorb y Danieli 2011



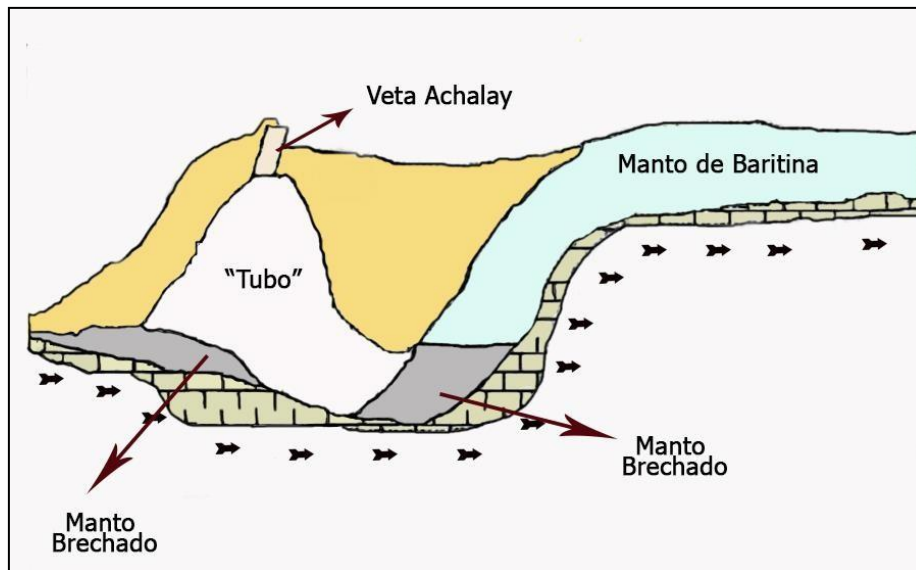
2.5.1.4 Geología del Depósito

En el comienzo de la explotación del yacimiento, el mismo contaba con tres tipos de cuerpos mineralizados, denominados “Tubo” o “Campana”, veta y manto.

La figura 2.9 (de Del Blanco y Barbieri, 1.999) muestra el “Tubo” longitudinalmente de manera acampanada. Según descripción de Navarro era una cavidad tubular de gran diámetro (mayora 20 m), con un sector interno (“masa interior”) y otro externo (“cáscara de brecha”). La masa interior estaba formada por baritina masiva de grano fino acompañada de escasa galena, pirita, calcopirita, drusas de calcita y venillas de cuarzo y se encontraba rodeada por una capa continua de brecha polimíctica cementada por baritina y sílice de hasta 5 m de espesor.

Figura 2.9:

Cuerpos mineralizados yacimiento Achalay



El “Tubo” como los depósitos mantiformes a subhorizontales de baritina son concordantes con las evaporitas de la Formación Auquilco (oxfordiano medio- superior). La roca de caja invariablemente está compuesta por las areniscas de la Formación Tordillo (kimmeridgiano) que presentan alteración sericítica y silícica.

“El emplazamiento de las vetas estuvo controlado por fracturas de orientación noreste, paralela al eje del pliegue, correspondiente a fallas de alivio de tensión o de cresterío, las que posiblemente se unen en profundidad” (Canelle, 1.950; Navarro,1.983).

El depósito mantiforme se encuentra truncado hacia el norte, por la quebrada que separa el yacimiento Achalay del cerro Mallín Quemado, no descartándose su continuidad en profundidad. En dirección suroeste, se reconocen sólo aisladas manifestaciones de baritina, ligadas al manto carbonático superior dentro de la Formación Auquilco, frecuentemente como reventones de baritina espática de pocos centímetros de diámetro.

En la figura 2.10 extraída de Giacosa 2.017, muestra la estructura de la veta Achalay y la ubicación tentativa de la mineralización que fuera denominada “Tubo”. En azul se muestran varios domos de yeso intrusivos en areniscas de la base de la Formación Tordillo.

Figura 2.10

Estructura del yacimiento Achalay, Giacosa 2.017

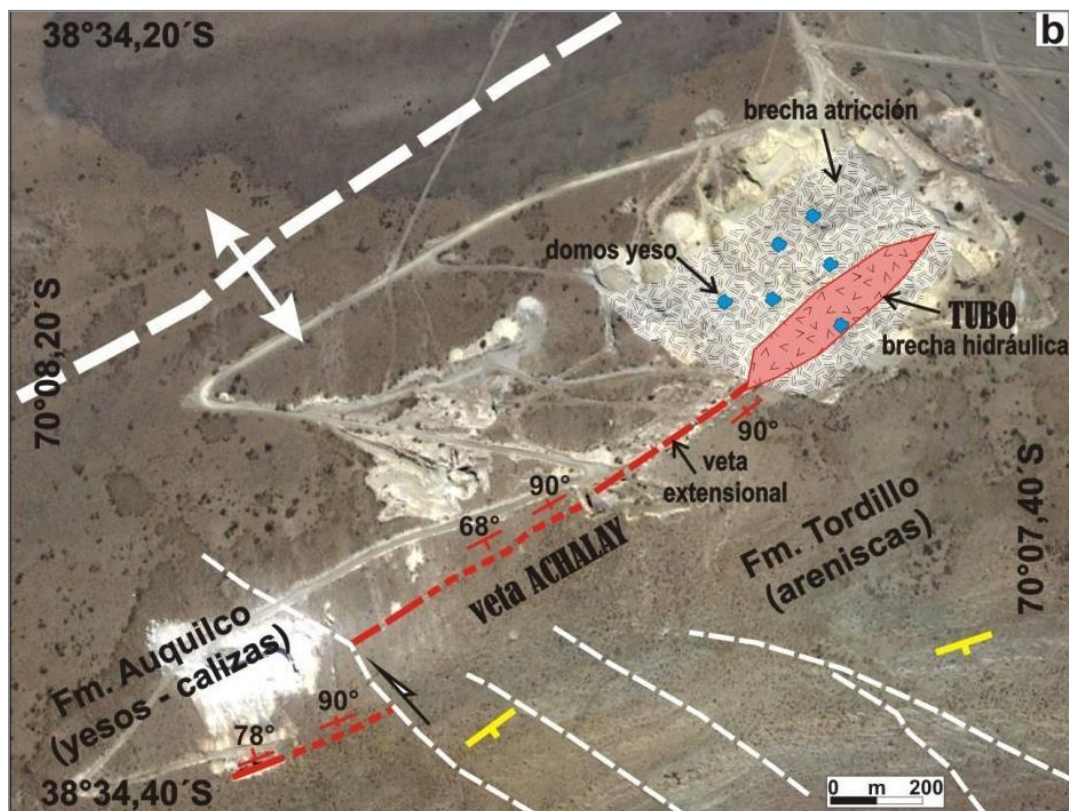
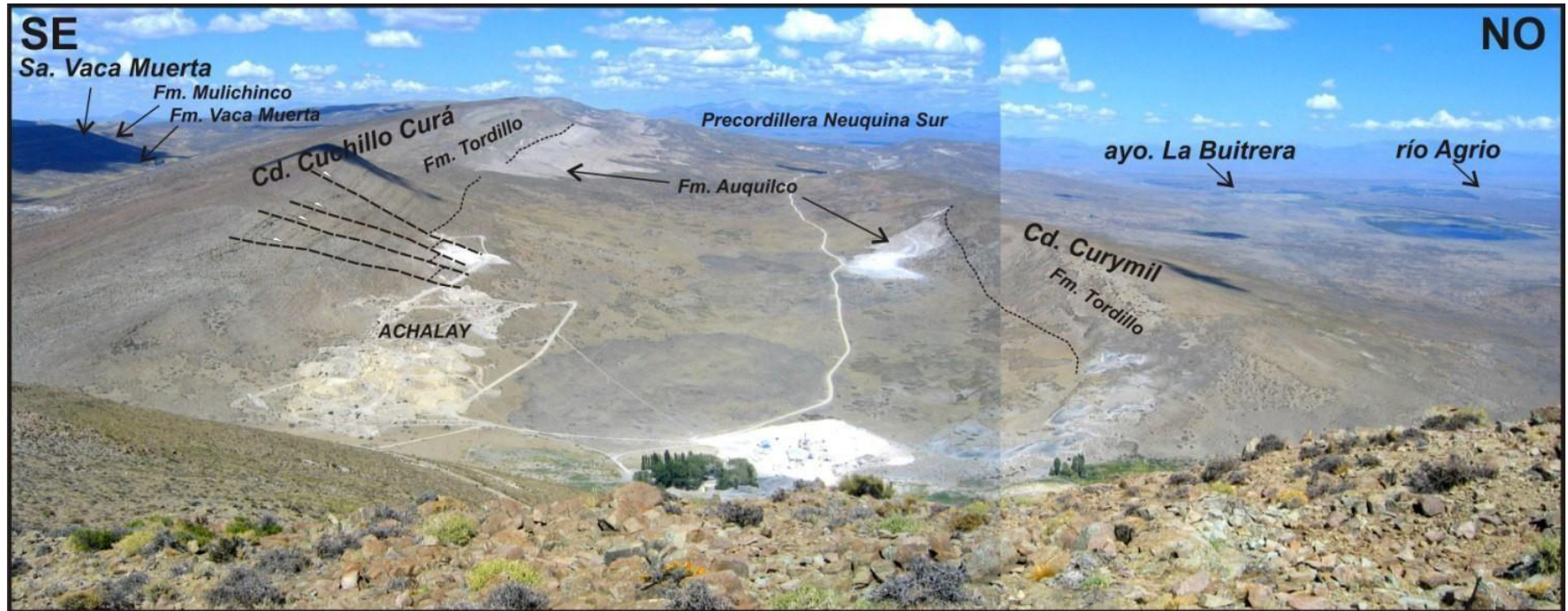


Figura 2. 11.
Geología regional Yacimiento Achalay, Giacosa 2.017.



2.5.1.5 Mineralogía

Datos bibliográficos del yacimiento Achalay mencionan que las mineralizaciones consisten en baritina de estructura bandeada y textura plumosa, rara vez espática, de tonalidad blanca amarillenta, con escasos y delgadas intercalaciones de material pelítico verdoso. La primera variedad textural domina en el tubo como en la veta Achalay, restringiéndose la espática al manto. Entre los minerales secundarios se encuentran óxidos de plomo e hidróxidos de hierro, galena y esfalerita. El cuarzo es muy escaso en el manto. Los carbonatos son abundantes en la parte superior de la veta. Se reconoce también la presencia de celestina (SrSO_4) a modo de pequeñas drusas y vetillas.

Las areniscas pertenecientes a la Formación Tordillo se encuentran en la roca de caja presentando una alteración sericítica y silícica.

“En las vetas fue identificada además adularia, feldespatos asociados al cuarzo, minerales característicos de una paragénesis epitermal” (Del Blanco y Barbieri, 1.999; de Barrio et al., 2.014).

La Tabla 2.4 extraída de Giacossa 2.017, resume las principales características geométricas de las estructuras de yacimiento Achalay y se detallan los minerales presentes en la veta, “Tubo” y manto y también describe la roca de caja dominante.

Tabla 2.4.

Principales características geométricas de las mineralizaciones de baritina de mina Achalay (Giacossa, 2017)

Clacussa, 2017)

ESTRUCTURA	GEOMETRÍA		MINERALES	ROCA CAJA
	Rbo / RBz	forma, espesor		
cordón Curymil				
VETA ACHALAY	Veta sur: N70°/ N340°-78°; Veta norte: N55°/N145°-68° y N325°/68° y 90°	Veta tabular; E: 1.5 m	Baritina, cuarzo, galena, blenda, pirita, calcopirita Vetas y vetillas	Areniscas Fm. Tordillo; calizas Fm. Auquilco en Achalay sur
EL TUBO	Rbo. ~ N55°; superficie ~ 5000 m ² 50 x 100 m	Lenticular alargado en planta; Campana cónica en sección.	Baritina Stockworks, vetillas vert. y horiz. Brechas Ba	Areniscas Fm. Tordillo
MANTO ACHALAY	N55°/N145°-30°	Manto tabular. E: 1-4 m	Baritina, celestina, yeso, cuarzo, galena, blenda, pirita, calcopirita, calcita Vetas y vetillas	Caliza Fm. Auquilco

Imagen 2.2.

Estructura mantiforme de baritina diseño lenticular (del Barrio 2.014).



Imagen 2.3.

Banco de baritina con textura bandeada y láminas de galena, (del Barrio 2.014).



2.5.2 Yacimiento Llao Llao

2.5.2.1 Historia del Depósito

El yacimiento de celestino-baritina Llao Llao se localiza en el cordón de Cuchillo Cura, flanco occidental del anticlinal de la Vaca Muerta. La empresa CONIDER pone en actividad esta mina en el año 1.951. En el año 2.001 pasa a propiedad de la empresa Luis E. Gret S.A., quien continúa la explotación hasta aproximadamente el año 2.016. En la actualidad la explotación está paralizada.

Imagen 2.4.

Cantera yacimiento Llao Llao.

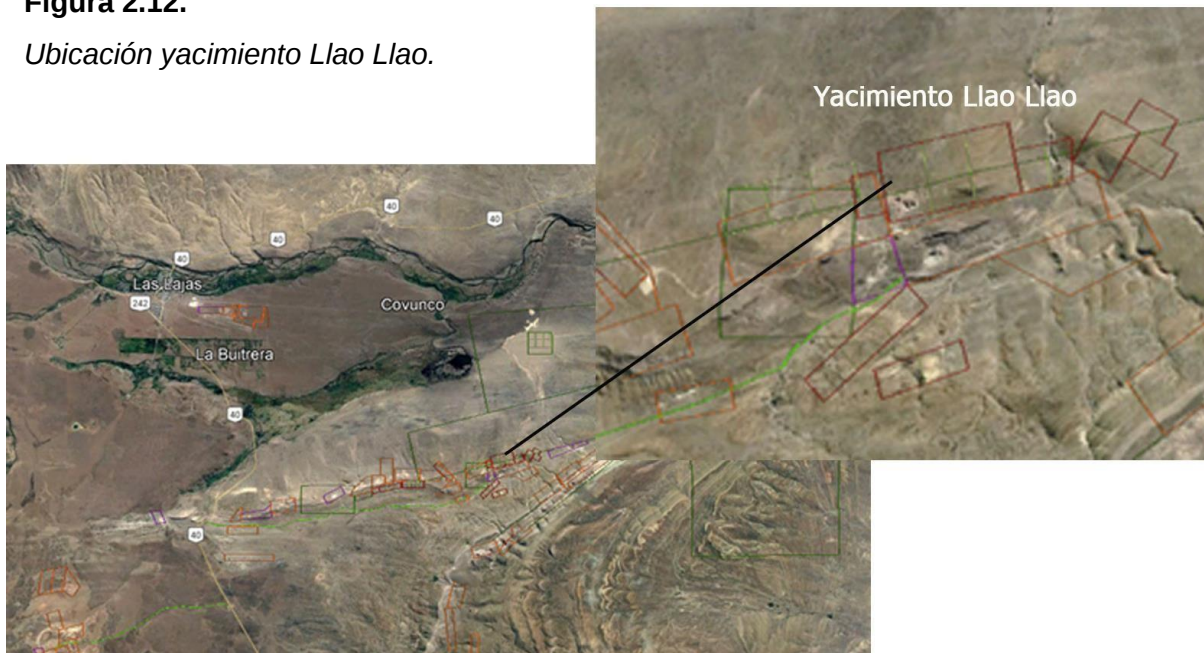


2.5.2.2 Ubicación y Acceso

La mina Llao Llao se ubica a 8 kilómetros al oeste de la mina “Achalay”, en el Cordón del Curymil, en el departamento Picunches de la provincia del Neuquén. Se accede a la misma desde la ciudad de Zapala, por la RN N°22, recorriendo unos 40 kilómetros en dirección noroeste hasta la localidad de Las Lajas, para tomar luego un desvío al este por 7 kilómetros, paralelo al Cordón del Cuchillo Curá. (Figura 2.12)

Figura 2.12.

Ubicación yacimiento Llao Llao.



2.5.2.3 Producción y Reservas

La explotación comenzó mediante trincheras y rajos; explotados tanto a cielo abierto como subterráneo por el sistema de cámaras y pilares.

“La producción entre los años 2.001 a 2.006 permitió el desarrollo de nuevas reservas de mineral habiéndose alcanzado una producción de 50.000 t de baritina de calidad petrolera y unas 45.000 t de celestina de alta pureza. Las reservas remanentes de baritina para este yacimiento han sido estimadas en 48.000 t, en tanto que las de celestina rondarían las 15.000 t”(Danieli 2.006).

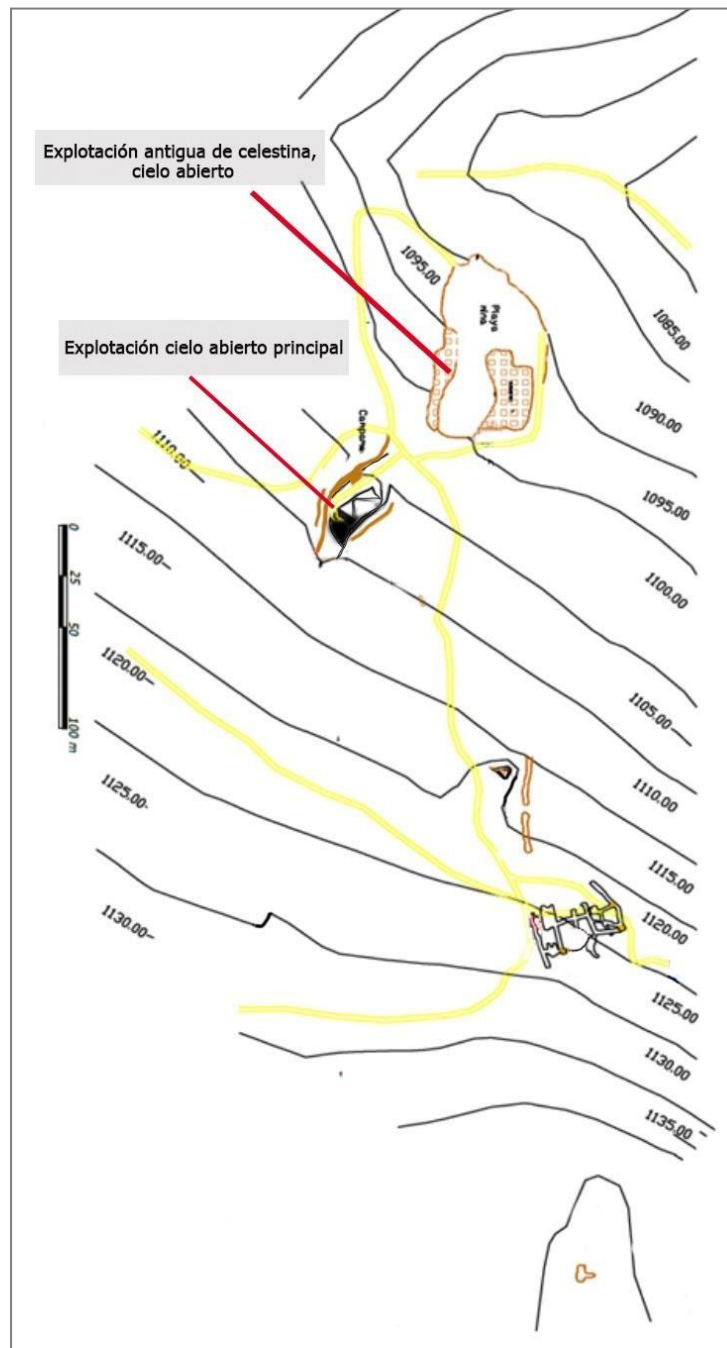
Los últimos datos de producción y reservas son los de Muñoz 2.016:

La cantera activa tiene un tamaño que alcanza los 40 metros de diámetro y 20 de profundidad y es donde se registra en la actualidad el principal volumen de laboreo. Existen además trabajos mineros exploratorios en destapes superficiales y pequeños laboreos subterráneos a veces achiflonados, horizontales y verticales, sobre cuerpos mineralizados menores de baritocelastina, de hasta unos 25 metros de longitud. (Muñoz, 2016, p 12)

En la actualidad el yacimiento no está en actividad y son escasos los antecedentes respecto ala potencialidad minera de este depósito.

Figura 2.13

Labores principales yacimiento Llao Llao, extraído y modificado de “Variación vertical en el contenido de bario de mina Llao Llao”, Muñoz 2016.



2.5.2.4 Geología del Depósito

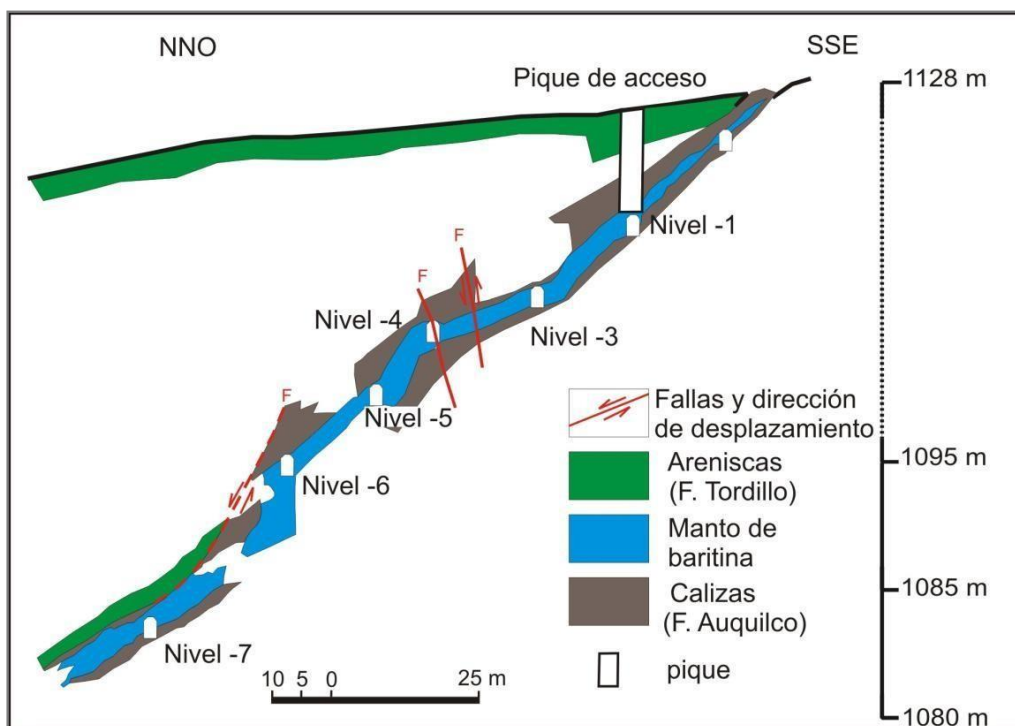
Las estructuras mineralizadas se encuentran alojadas en el flanco noroccidental del anticlinal de la Vaca Muerta, representadas por unidades pertenecientes al Grupo Lotena, entre calcáreos que corresponden a los depósitos de la F. Auquilco y areniscas de la F. Tordillo.

La mineralización de baritina mantiforme con disposición lenticular se ubican en el sector oriental del yacimiento, a unos 300 metros en dirección NE, con potencias variables, también se visualizan cuerpos vetiformes discordantes, por lo general comprendidos entre 10 y 15 cm de potencia, emplazados en los términos inferiores de la Formación Tordillo. Están constituidos por celestina y baritocelastina, siendo más común la segunda.

Figura 2.14.

Mapa de detalle de la labor subterránea barítica de la mina Llao Llao de Danieli, 2.006.

Extracto Del Blanco et.al 2.013



En superficie, este manto se pone de manifiesto a través de un rajo a cielo abierto, donde se observa el manto de barita. Las calizas exhiben vetillas y concentraciones irregulares de baritina espática.

“Se localizó un intrusivo andesítico no alflorante, que yace concordante con la estratificación entre las capas de yeso y sus intercalaciones calcáreas, y las areniscas de la Formación Tordillo. Las rocas carbonáticas, yeso y areniscas fueron afectadas por la intrusión y están deformadas, fracturadas y teñidas por óxidos de hierro, y también presentan venillas y costras limoníticas” (Case et. al, 1988).

2.5.2.5 Mineralogía

La baritina es de textura maciza y tonos grisáceos a levemente rosados. En los niveles más profundos se presentan, en génesis tardía, sulfuros, esencialmente pirita. La mineralización desulfuros se extiende no sólo al manto barítico, sino también a las adyacentes areniscas de la F. Tordillo, que conforman el techo de la mineralización, aprovechando sus planos de laminación. La de sulfuros del manto de baritina, se asemeja a la paragénesis mineral indicada por Leveratto (1982) para el vecino depósito barítico de Achalay.

Las vetas presentan tonos desde blanquecinos a castaño negruzcos, motivados por la presencia de importantes concentraciones de óxidos de hierro y manganeso, dominando entre los primeros la goethita, mientras que en los de manganeso se identificó pirolusita y posible bixbyita. Por sectores se observan agregados de sulfatos de Sr-Ba con cristales de más de 1cm de tamaño, tabulares, de muy buen desarrollo cristalino, aparentemente posteriores a los minerales de hierro. Ocasionalmente se ha identificado la presencia de galena, como muy pequeños cristales incluidos en la baritocelastina.

Imagen 2.5.

Veta de mineralización yacimiento Llao Llao



Capítulo III

ENSAYOS

3.1 Muestreo

El propósito del muestreo es obtener una porción que sea representativa de los yacimientos de baritinas que yace acompañada por otros minerales secundarios y de ganga.

El método empleado para la extracción de las muestras fue mediante la toma de esquirlas por medio de una canaleta, con el uso de una piqueta de geólogo.

En el yacimiento Achalay se colectaron tres muestras, dos en interior mina de la zona de mantos y vetas y la tercera en el exterior en la pila de acopio. Las mismas se identificaron F1, F2, F3.

Tabla 3. 1.

Muestras colectadas en el yacimiento Achalay

Muestra	Observación
F1(Manto)	Finalización del manto, brecha de falla. Tomada de la galería. Posible desplazamiento, se observa Fm. Tordillo /Fm. Auquilco/Fm. Tordillo(Imagen 3.1A)
F2(Veta)	La muestra se tomó en el interior de la galería. (Imagen 3.1B)
F3(Pila)	De la escombrera, en canaleta cruzada.2mx4mx3m. (Imagen 3.2)

En el yacimiento Llao Llao se colectaron dos muestras, de una veta mineral posiblemente de celesto- baritina, nombrada F4 y la segunda que se extrajo de una veta en la entrada de la cantera, F6.

Tabla 3. 2.

Muestras colectadas en el yacimiento Llao Llao

Muestra	Observación
F4	Veta mineral (Imagen 3.3 A)
F6	Veta de la entrada a la rampa. (Imagen 3.3 B)

Imagen 3. 1.

A) Muestra F1



B) Muestra F2



Imagen 3. 2.

Muestra F3



Imagen 3. 3

Muestra F4



B) Muestra F6



3.2 Técnicas Analíticas

3.2.1 Preparación de las Muestras para Análisis Químico

La preparación para las muestras se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Ensayos Físicos de la Dirección General de Minería de la Provincia de Neuquén, con la maquinaria de la sala de molienda.

Se inició la reducción de tamaño con una trituradora de mandíbulas, con una abertura de alimentación de 20 cm × 15 cm y una ranura de salida de 20 cm × 0,635 cm. Una vez trituradas la muestras se homogenizaron las mismas y se utilizó un cuarteador tipo Jones, para obtener una fracción representativa del total.

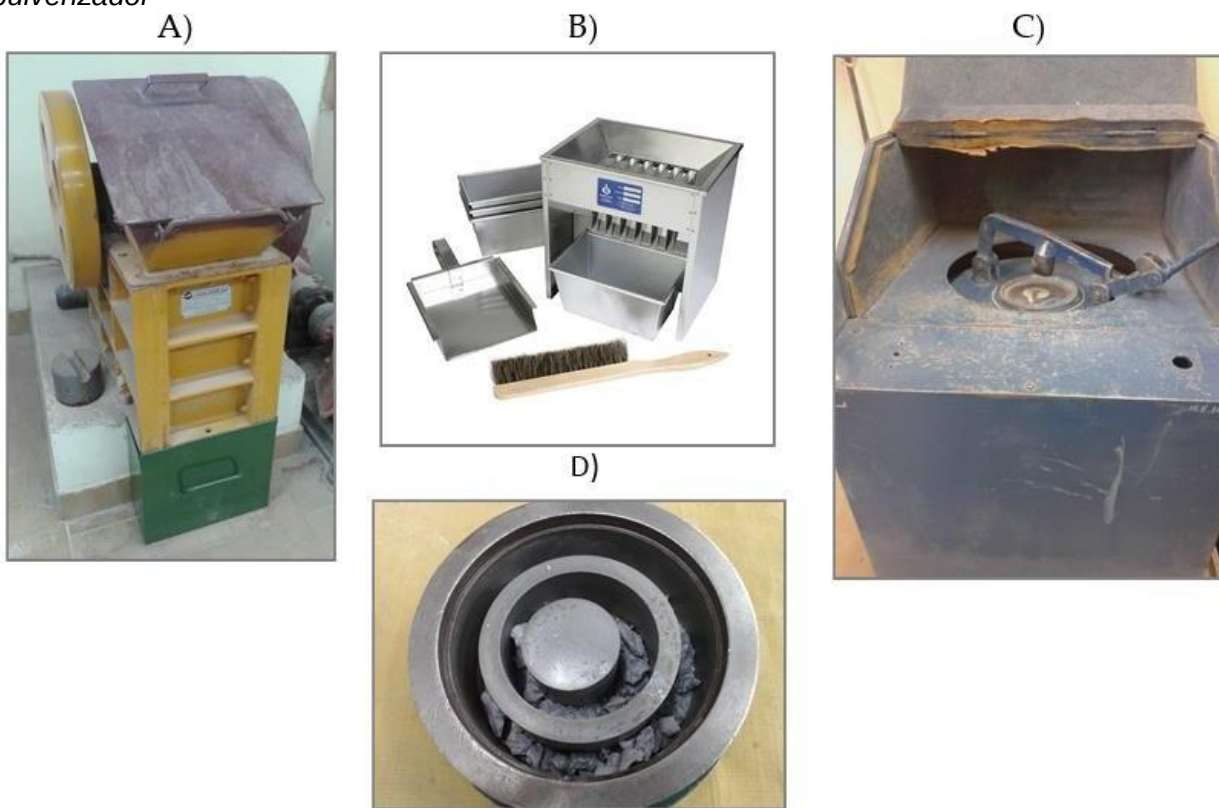
Esta fracción representativa de cada una de las muestras extraídas del yacimiento Achalay y del yacimiento Llao Llao fueron tratadas en un molino a discos y posteriormente por pulverizador de anillos, obteniendo una muestra de tamaño pasante malla 200 (74 micrones), para ser utilizada en métodos analíticos instrumentales y determinaciones químicas (Imagen 3.4).

A las muestras se les determino la densidad, la perdida por calcinación y mediante Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X (FRX), se determinó tanto cuali como cuantitativa los elementos presentes en cada muestra.

El material restante de las muestras de dichos yacimientos se reservó para el ensayo de concentración en mesa.

Imagen 3. 4

A) Trituradora de mandíbulas, B) Cuarteador Jones, C) Molino de discos, D) Anillos del pulverizador



3.2.2. Determinación Densidad de Baritina

La densidad de un mineral es la relación entre su masa y su volumen, y se mide en peso sobrevolumen, para el presente trabajo se utilizó la unidad g/cm^3 .

Para realizar la determinación de la densidad de baritina se prosiguió de la siguiente manera:

1. Se pesa al 0,01gr aproximadamente, 80 gr de baritina previamente molida con la granulometría pasante malla 200, 74 micrones (Imagen 3.5).
2. Se llena un matraz Le Chatelier limpio de graduación 24 ml por debajo de la marca cero con agua destilada, se seca el matraz Le Chatelier enrollando un papel a lo largo de un polizón y se seca el cuello, teniendo cuidado de que no entre en contacto con el agua destilada en el matraz (Imagen 3.6).
3. Se introduce pequeñas porciones de la muestra en el matraz Le Chatelier cuidando que no se produzcan salpicaduras y evitando que el mineral se adhiera en las paredes del matraz. Este es un proceso lento, que requiere transferencias repetidas de pequeñas cantidades de baritina. Para desalojar la baritina adherida en las paredes, se golpea cuidadosamente el cuello del matraz con la espiga y se agita cuidadosamente de lado a lado.
4. Se deja reposar al menos 20 minutos y luego se registra el valor del volumen desplazado en mililitros.

Imagen 3. 5.

Balanza Analítica

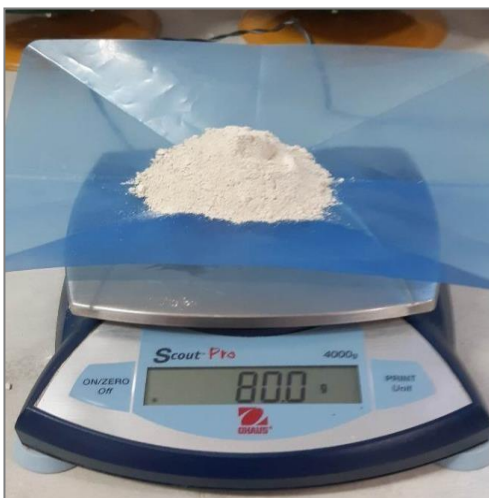


Imagen 3. 6.

Matraz de Le Chatelier



Con la ecuación 3. 1, se realiza el cálculo de la densidad. La determinación se realizó por duplicado para comparar alguna desviación y luego se calcula una media de la densidad de las muestras.

Ecuación 3.1.

Cálculo de Densidad

$$\rho = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} = \text{gr} / \text{cm}^3$$

3.2.3 Pérdida por Calcinación

La pérdida por calcinación (PPC) se realizó para complementar el análisis químico de los minerales. Se realizó la PPC a 900 °C durante una 1h. El ensayo se hace por duplicado para cotejar alguna desviación.

Para realizar la PPC se prosiguió de la siguiente manera:

1. Se pesa aproximadamente 1 gr de cada muestra en una balanza electrónica Sartorius GMBH GÖTTINGEN con capacidad de 31 gramos, con una sensibilidad de 1×10^{-4} (Imagen 3.7).

2. Se coloca en crisoles de porcelana tarados y rotulados en el desecador.
3. Se lleva a calcinación a una temperatura de 900°C en una mufla eléctrica durante 1 hora. (Imagen 3.8)
4. Se dejan enfriar en desecador y se realiza el pesaje hasta peso constante (Imagen 3.9).

Imagen 3. 7.

Balanza analítica



Imagen 3. 8.

Mufla eléctrica



Imagen 3. 9.

Desecador con crisoles



Se registraron los parámetros, peso del crisol, peso de la muestra y peso del calcinado; para luego mediante un cálculo matemático determinar la pérdida por calcinación.

Ecuación 3.2

Cálculo Pérdida por calcinación (PPC)

$$PPC = \frac{[(\text{peso de crisol} + \text{peso de la muestra}) - \text{peso del calcinado}] \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

3.2.4 Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X

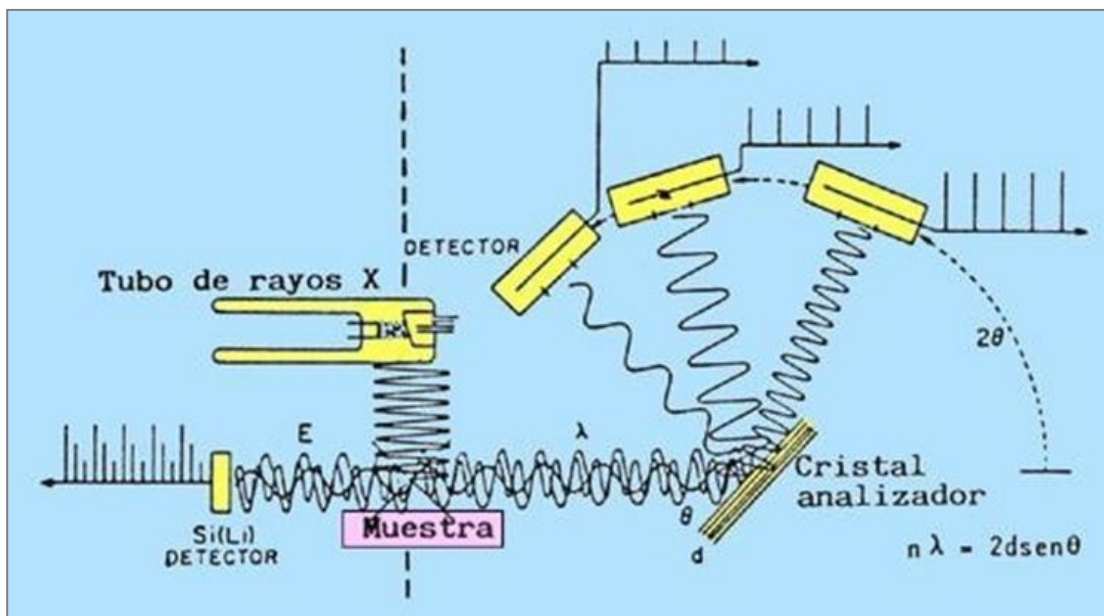
La espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica analítica no destructiva que se utiliza para obtener información elemental de los diferentes tipos de materiales. El equipo identifica la longitud de onda o energía de cada radiación característica midiendo sus intensidades y nos permite conocer los elementos que componen la muestra y sus respectivas concentraciones.

El Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X clásico o Espectrómetro de Rayos X de Dispersión en Longitudes de Onda, es llamado así porque el espectro de fluorescencia policromático emitido por la muestra al ser excitada por un haz de radiación producido por un tubo de rayos X, es descompuesto en sus componentes monocromáticas en

función de sus longitudes de onda, al difractarse en un monocristal de espaciado conocido. El haz difractado para cada posición angular del monocristal incide sobre un detector, generalmente un detector de gas proporcional de flujo o de centelleo, que convierte los fotones en impulsos eléctricos.

Figura 3. 1.

Esquema general de un equipo de Fluorescencia de Rayos X



El equipo de fluorescencia de rayos X (FRX) utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados, y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra.

Los análisis de las muestras del yacimiento Achalay y del yacimiento LLao Llao se realizaron en el Laboratorio Químico del Asentamiento Universitario Zapala. El equipo empleado para este estudio fue un Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X dispersivo en energía, marca

Shimadzu, modelo EDX 800 HS, el cual posee un tubo de Rh y un detector semiconductor Si (Li), empleado nitrógeno líquido para la refrigeración del mismo.

Imagen 3. 10.

Espectroscopio de Fluorescencia de Rayos X Shimadzu EDX800-HS

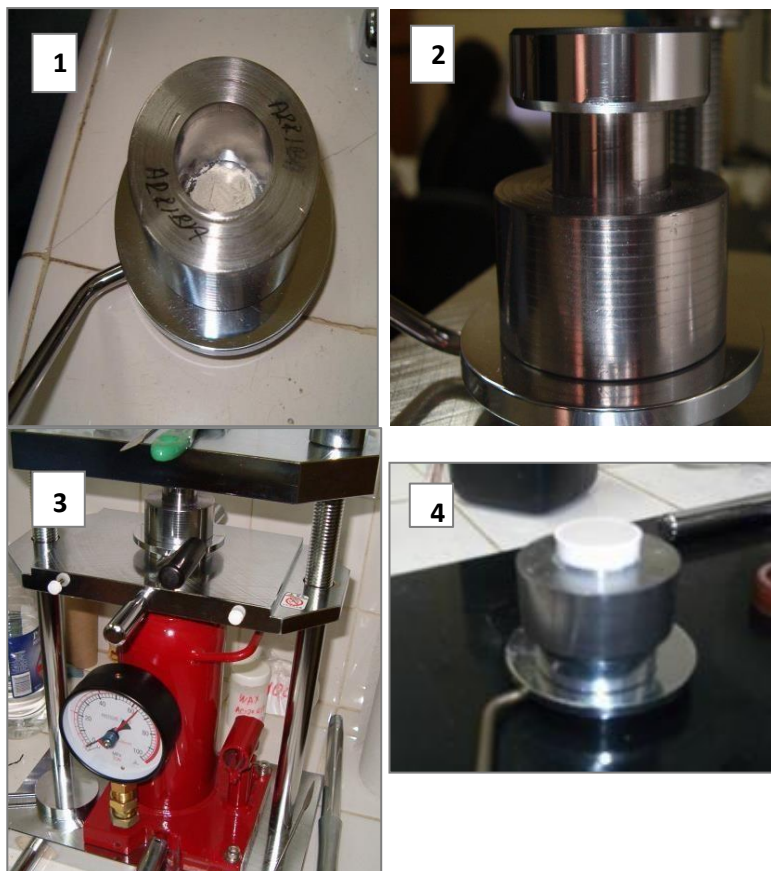


Para la técnica de medición se debe realizar una pastilla de superficie especular, para lo cual se utilizan aproximadamente 2 gramos de muestra de mineral pasante malla 200 (74 micrones), el cual se aglomera con ácido bórico (H_3BO_3) y se prensa a 15 t para formar la pastilla mencionada (Imagen 3.11).

El cierre del análisis químico por FRX requiere el ingreso de valores de PPC determinados en el punto anterior.

Imagen 3.11.

Secuencia de preparación de pastilla (1) Elaboración de pastilla en cilindro de prensado. (2) Cilindro de prensado con su respectivo pistón. (3) Prensado (4) Pastilla



3.3 Ensayo de Concentración

3.3.1 Conminución o Reducción de Tamaño

De acuerdo a la naturaleza del yacimiento y el método de explotación seguido, en general el tamaño del material obtenido deber ser adecuado para su posterior utilización industrial, imponiéndose entonces la conminución o reducción de tamaño. En el tratamiento de las menas y minerales la conminución puede perseguir uno o ambos de los siguientes objetivos: liberar los componentes de la mena y dar al producto las características granulométricas que convienen a su utilización.

Para este trabajo se realizó el proceso de trituración y molienda empleando los equipos del Asentamiento Universitario Zapala, a fin de obtener el producto más adecuado para los ensayos de concentración en mesa.

Las muestras del yacimiento Achalay y del yacimiento Llao Llao se redujeron primariamente con una trituradora de mandíbulas, con una abertura de alimentación de 30 cm × 13 cm y salida aproximadamente de 4cm.

La segunda etapa de trituración se realizó en trituradora de mandíbula con un set de 2cm a fin de reducir aún más el tamaño de las partículas.

Figura 3. 2.

Diagrama de trituración



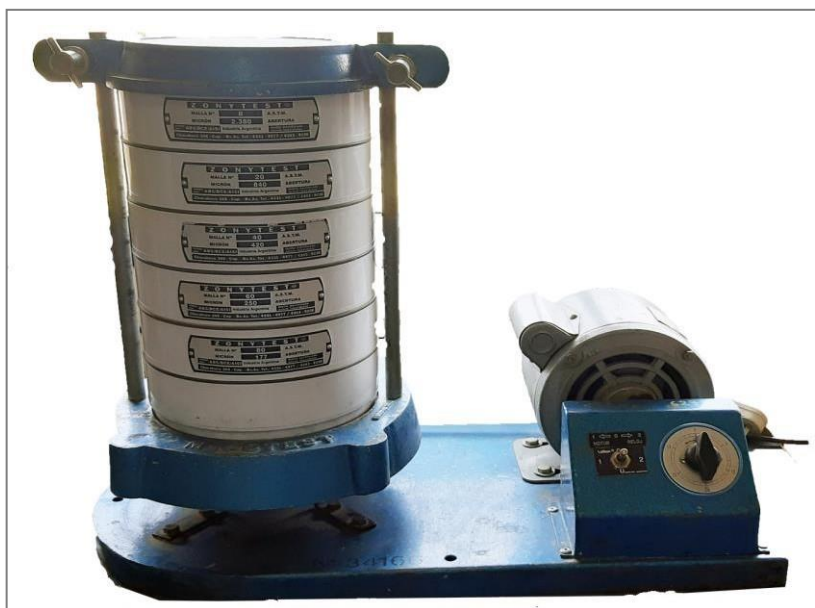
3.3.2 Clasificación por Tamaños

Es la separación por medio de cribas o tamices de una mezcla de partículas de diversos tamaños, en dos o más porciones. La separación se efectúa de manera que las partículas de cualquiera de las porciones sean de tamaño más uniforme que el de la muestra original.

El ensayo de tamices se realizó en un equipo eléctrico mecánico denominado Rotap. El mismo consiste en una mesa con un vibrador sobre la cual se dispone la serie de tamices de los tamaños que deseamos clasificar. El tamaño de partícula que queda sobre un tamiz dado es de mayor tamaño que las aberturas del mismo y se indica con el signo más (+), el que pasa es menor y se indica con el signo menos (-).

Imagen 3. 12.

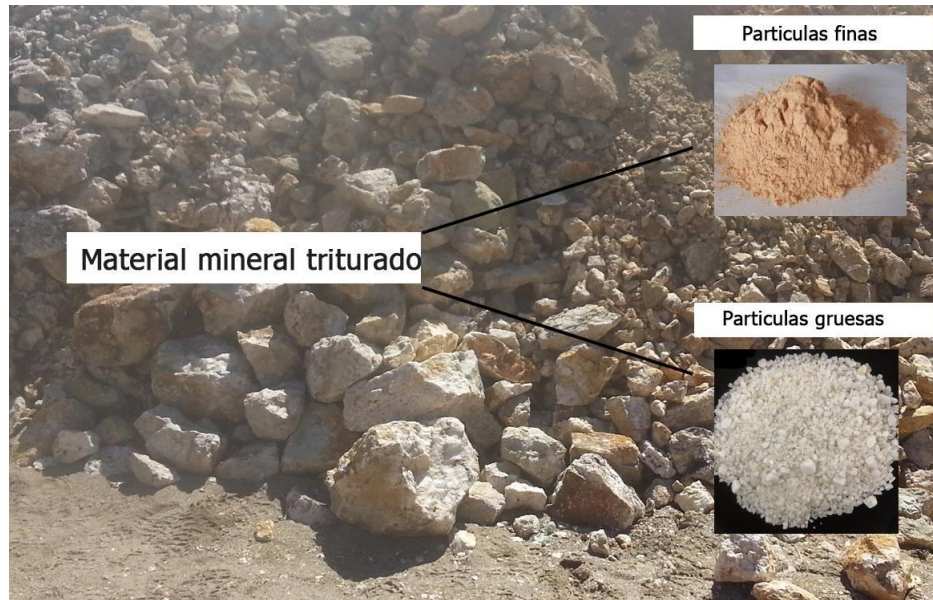
Cribado mecánico en Rotap



El material del yacimiento Achalay que se trituro, se distribuyó en dos tamaños marcadamente diferentes, se observó un polvo fino y partículas gruesas. Las partículas finas mostraban un color característico de tono rojizo como el de las arcillas, probablemente provenientes de las intercalaciones de limos arcillitas y calcáreos presentes en la columna estratigráfica de la zona y las partículas de mayor tamaño con tonos blanquecinos (Figura 3.3).

Figura 3. 3.

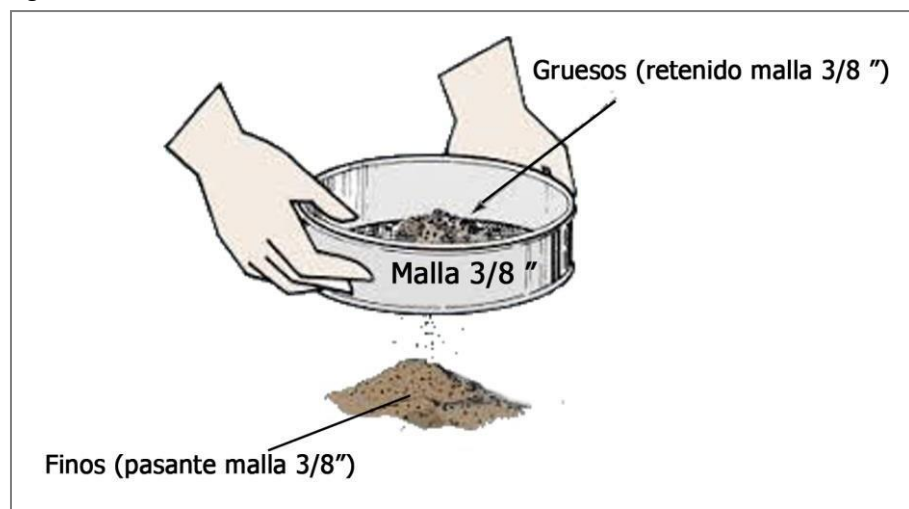
Material triturado yacimiento Achalay



Con el fin de realizar una clasificación y evitar la sobremolienda de los minerales finos con presencia de lamas en el proceso de concentración, las muestras del yacimiento Achalay, F1 (manto), F2 (veta), F3 (pila) se las clasifico con un corte en malla 3/8 " (9.51 mm) para separar gruesos y finos. Se denominó grueso el material de tamaño mayor 9.5mm y fino el material de tamaño menor a 9.5mm.

Figura 3.4.

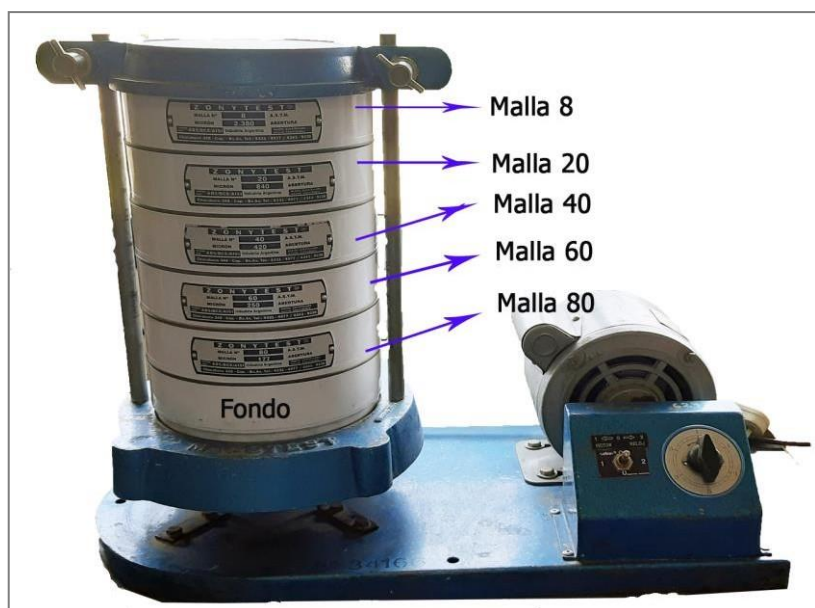
Clasificación granulométrica



El tamaño de partícula desempeña un papel muy importante en las separaciones en mesa concentradora; a medida que aumenta el rango de tamaños en la alimentación de la mesa, algunos tamaños serán clasificados ineficientemente y la eficiencia de la separación disminuye. Teniendo en cuenta que se necesita una alimentación clasificada para la mesa concentradora, al material denominado fino de cada una de las muestras del yacimiento Achalay, F1 (manto), F2 (veta), F3 (pila) se las clasificó nuevamente en rotap utilizando una escala de tamices de la serie ASTM: malla 8 (2.36 mm), malla 20 (0.84 mm), malla 40 (0.425), malla 60 (0.25 mm), malla 80 (0.18mm) y fondo.

Figura 3.5.

Escala de tamices Rotap



Al material denominado grueso obtenido en el corte descrito anteriormente, de las muestras del yacimiento Achalay, F1 (manto), F2 (veta), F3 (pila), se las trituro en un molino de martillos con grilla de 2mm , para obtener un material similar al de los finos.

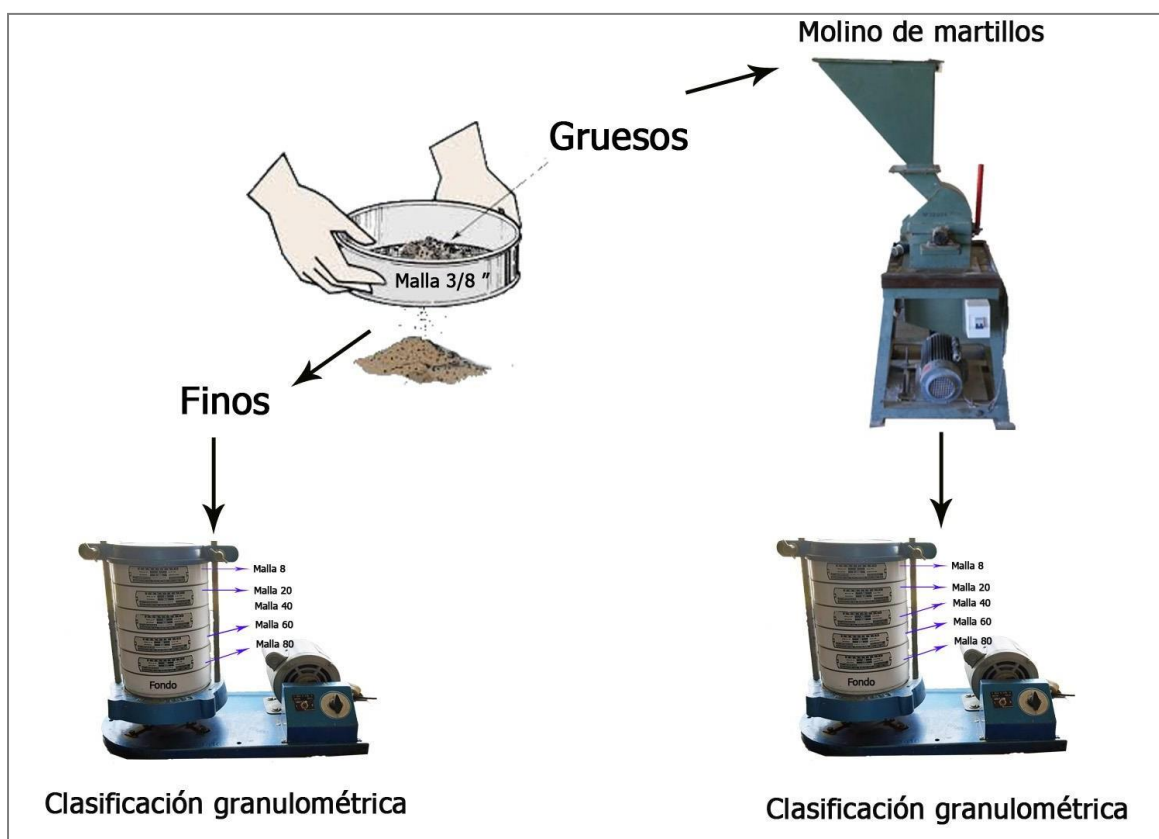
Seguidamente se las clasificó granulométricamente utilizando una serie ASTM malla 8 (2.36 mm), malla 20 (0.84 mm), malla 40 (0.425), malla 60 (0.25 mm), malla 80 (0.18mm) y

fondo (Figura 3.6).

En la molienda realizada en el molino de martillos surgió un color grisáceo en la mineralización, quizás relacionado con presencia de minerales de plomo. Según Brodtkorb y Danieli 2011, se visualizan pecas de galena en la zona de transición entre mantos y vetas en las mineralizaciones del yacimiento Achalay.

Figura 3. 6.

Diagrama trituración, molienda y clasificación granulométrica yacimiento Achalay.



Las muestras del yacimiento Llao Llao F4 y F6 se las trituro siguiendo el mismo procedimiento que las muestras del yacimiento Achalay, se las clasificó con un corte en malla 6 ASTM (3.35mm) para separar gruesos y finos. Esta medida de corte se definió debido a que el material obtenido en la etapa de trituración resultó con mayor contenido de finos.

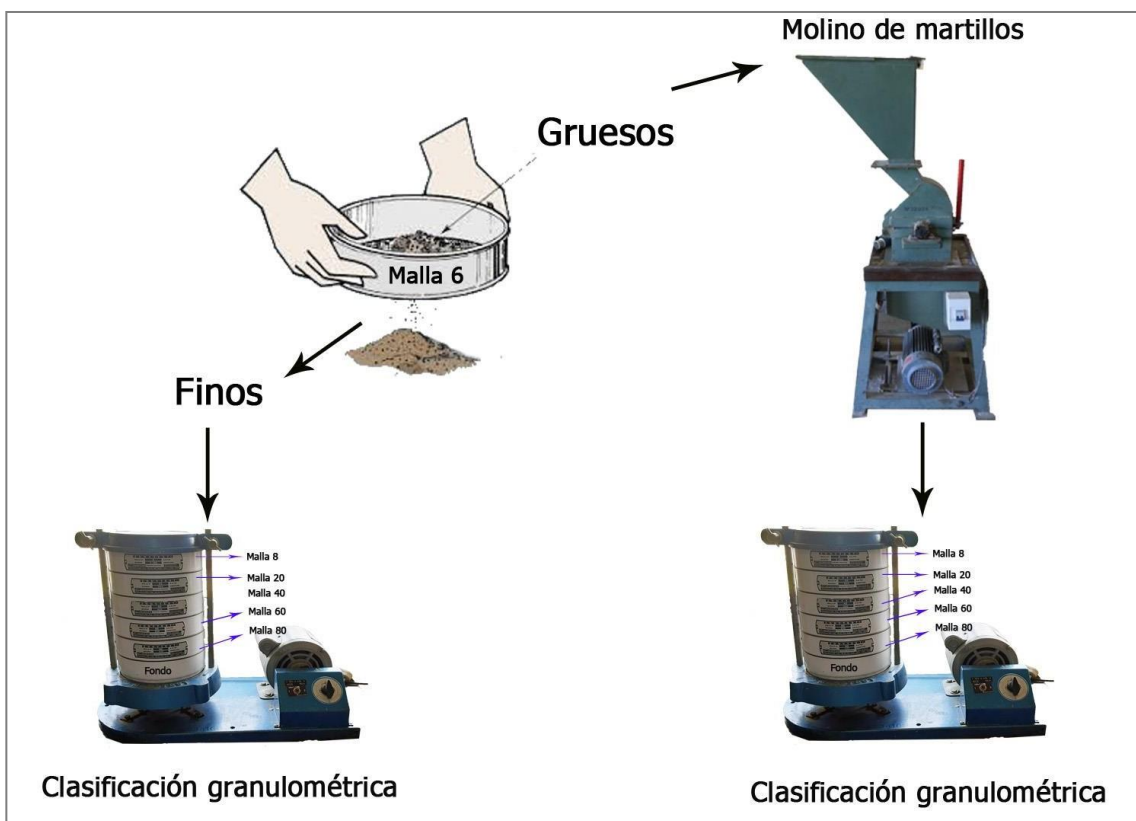
El material denominado fino se clasifico granulométricamente utilizando una escala de tamices

serie ASTM: malla 8 (2.36 mm), malla 20 (0.84 mm), malla 40 (0.425), malla 60 (0.25 mm), malla 80 (0.18mm) y fondo.

Al material denominado grueso lo pasamos por el molino de martillos con grilla de 2mm y luego realizamos la clasificación granulométrica en una escala de tamices con serie ASTM: malla 8 (2.36 mm), malla 20 (0.84 mm), malla 40 (0.425), malla 60 (0.25 mm), malla 80 (0.18mm) y fondo.

Figura 3. 7

Diagrama trituración, molienda y clasificación granulométrica yacimiento Llao Llao.



3.3.3 Determinación de Porcentaje de Baritina con Lupa Binocular

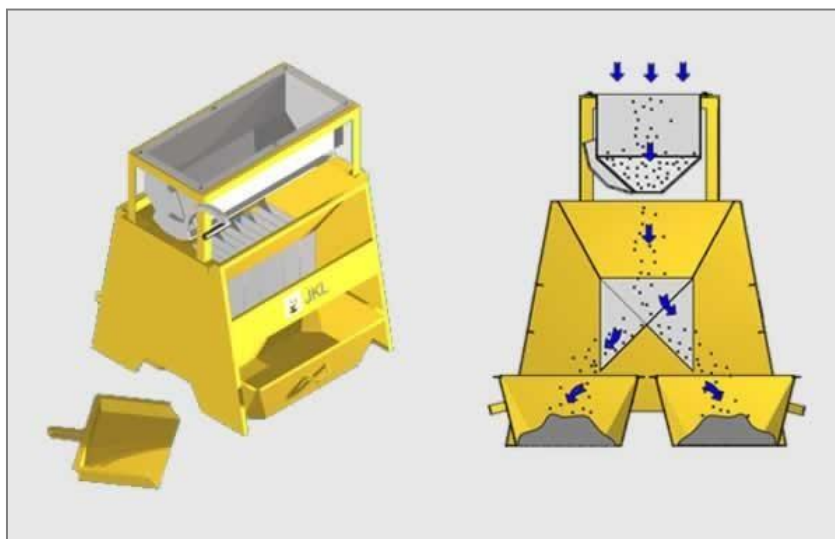
3.3.3.1 Cuarteo de Muestras

Para obtener una porción representativa de las muestras del yacimiento Achalay y del yacimiento Llao Llao, que se observaron en lupa y así estimar el contenido de baritina, se utilizó un cuarteador tipo Jones. Este equipo consiste en una caja

de forma rectangular, con la parte superior en forma de cono truncado que sostiene un par de rejillas orientadas unas en dirección contraria a las otras, formando un embudo por donde se introduce el mineral que discurre hasta dos cajas inferiores situadas en el piso, que luego de ser extraídas, acumulan aproximadamente la misma cantidad de mineral, dividiendo así en dos partes la muestra original. Seguidamente se desecha una de las partes y con la otra repite la misma operación anterior tantas veces como sea necesario hasta obtener una muestra representativa y en cantidad suficiente para los ensayos a realizar.

Figura 3. 8.

Cuarteador tipo Jones



3.3.3.2 Determinación de Porcentaje de Baritina en Lupa Binocular

La determinación de porcentajes en lupa se realizó en las instalaciones de Museo Provincial de Ciencias Naturales “Dr. Prof. Juan A. Olsacher”, se utilizó una lupa binocular marca Nikon. La lupa binocular es un instrumento óptico que produce una imagen aumentada del objeto que se observa a través de ella. Consta de cuatro sistemas de lentes; los dos más próximos a los ojos del observador se llaman oculares y los dos más próximos al objeto observado se denominan objetivos. Los oculares están insertados en dos cortos tubos. El ocular del lado derecho posee un anillo para corregir la diferencia de visión que exista en la vista del observador. Los oculares

pueden girar a derecha e izquierda para que su separación coincida con la separación vista del observador.

Los cuatro sistemas ópticos están colocados en el cuerpo de la lupa, que puede desplazarse verticalmente para que el objeto observado quede en el foco del conjunto de las lentes y de esta manera se produzca una imagen nítida. Esta operación se denomina enfocar y se lleva a cabo con dos tornillos laterales de movimiento simultáneo llamados mando de enfoque.

La columna se une a la base de la lupa. En ésta se encuentra la platina, superficie sobre la cual se coloca el objeto para ser observado. Para poder ver el objeto es necesario iluminarlo lateralmente debido a que la imagen se forma por reflexión.

Imagen 3.13.

A) Lupa binocular



B) Partes lupa binocular



Se observaron las fracciones de las muestras del yacimiento Achalay y del yacimiento Llao Llao. Se descartó la fracción de la muestra del yacimiento Achalay F2 malla 8 (2.36mm) de los materiales finos porque se observó ligamento del mineral de interés con la ganga.

Imagen 3.14

Minerales ligados



El examen en lupa binocular se realizó de la siguiente forma:

- 1) Se dispone una porción de muestra sobre un vidrio reloj y separa la muestra en cuatro cuadrantes (Imagen 3.15 y 3.16).
- 2) Se observa sistemáticamente en la lupa binocular cada uno de los cuadrantes, en sentido de las agujas del reloj y se realiza el conteo de los minerales presentes en cada uno de los cuadrantes. El conteo realizado en cada cuadrante se compara con las tablas de diagramas de estimación visual de porcentajes, del libro Petrografía Básica. Textura, clasificación y nomenclatura de rocas. A. Castro Dorado ,1.989 (Figura 3.9).
- 3) Se determina los minerales presentes en cada muestra y los porcentajes, obteniendo un valor estimativo del porcentaje de minerales presentes en cada una de las fracciones la muestra que se observan en la lupa binocular (Figura 3.10).

Imagen 3. 15.
Cuadrantes de la muestra.

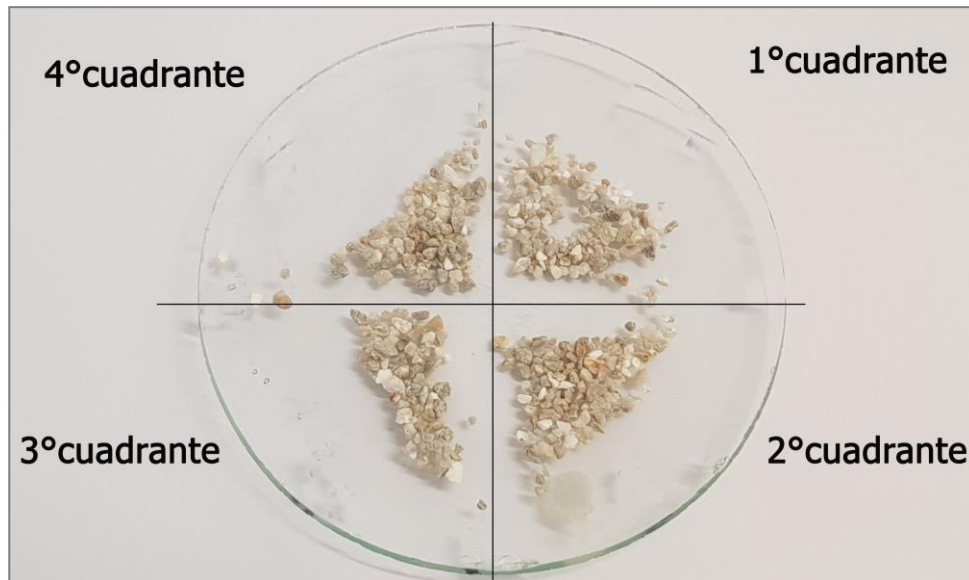


Imagen 3. 16.
Vista en lupa de un cuadrante.



Figura 3. 9.

Diagrama estimación visual de porcentajes. Petrografía Básica. Textura, clasificación y nomenclatura de rocas. A. Castro Dorado ,1.989

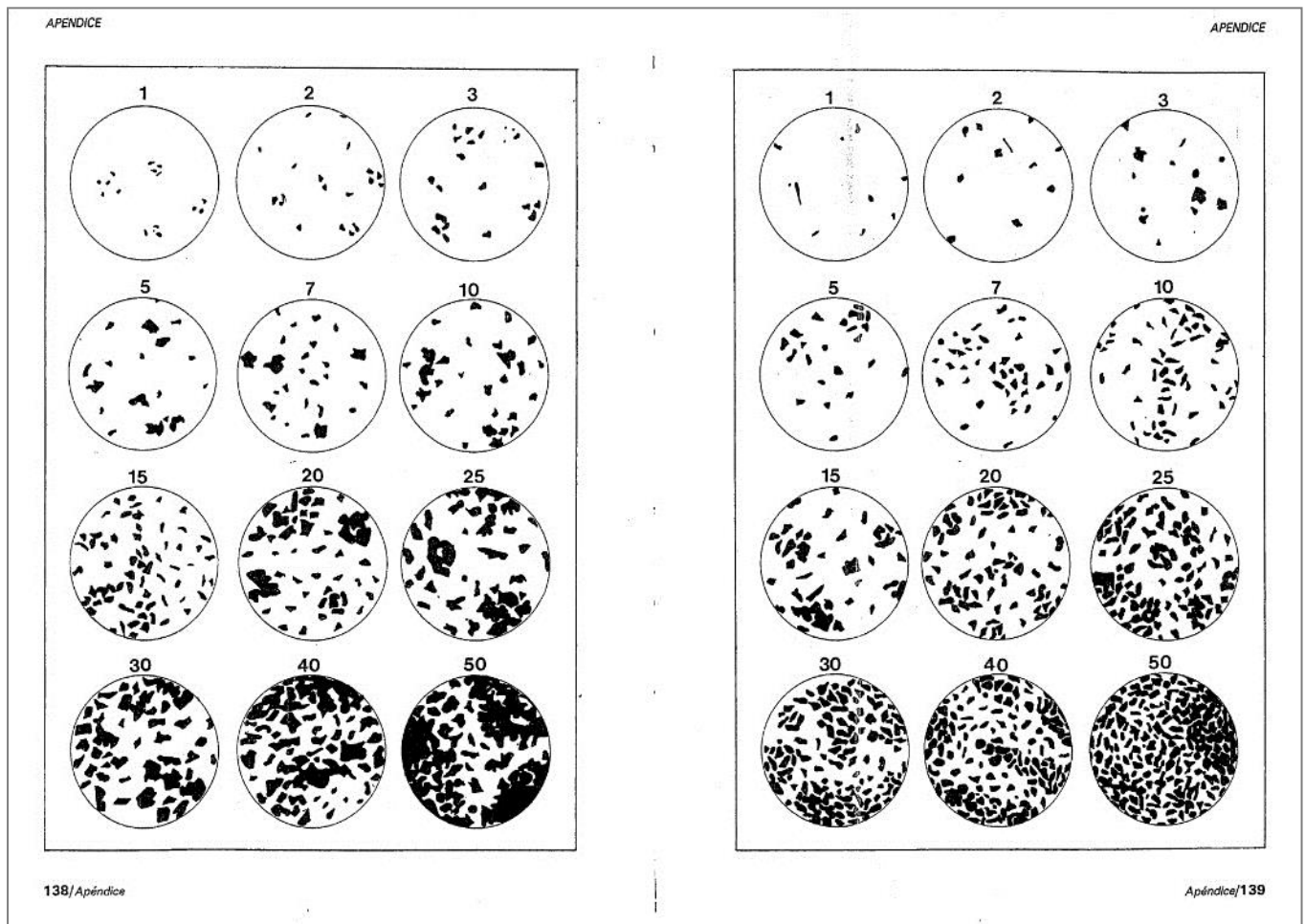


Figura 3. 10.

Minerales presentes en las muestras



3.3.3 Concentración Gravimétrica por Mesas Vibratorias

En el año 1.895 Wilfey comienza a concentrar minerales metálicos con la invención de las mesas vibratorias rifleadas. Estos son equipos de concentración que actúan a través de superficies con movimientos acelerados asimétricos, combinados con el principio de escurrimiento laminar. Si bien en la actualidad, este tipo de concentración, ha sido paulatinamente reemplazada por la concentración por flotación, éste método es aun empleado debido a la relativa sencillez del proceso y menor costo operativo. Además al no emplear aditivos en la conformación de la pulpa, el agua empleada no contiene productos químicos que contaminen el ambiente.

La concentración en mesa se adapta mejor al tratamiento de materiales en los cuales existe una marcada diferencia de densidades entre el mineral y la ganga.

El criterio de concentración es usado como una aproximación de la facilidad de separación de

dos minerales a través de procesos gravitacionales, sin considerar el tamaño de las partículas.

Para este tipo de concentración se considera el criterio de concentración (CC) de Taggart, que es usado en una primera aproximación y nos brinda una noción de la facilidad de obtener una separación entre minerales a través de procesos gravitacionales, sin considerar el factor de forma de las partículas minerales.

El criterio de concentración – originalmente sugerido por Taggart, con base en la experiencia industrial – aplicado a la separación de dos minerales en agua, es definido por la siguiente expresión:

Ecuación 3.3

Criterio de concentración por Taggart

$$CC = (D_h - D_f) / (D_l - D_f)$$

Dónde:

D_h = Densidad relativa del mineral pesado en Kg/m^3 .

D_l = Densidad relativa del mineral liviano en Kg/m^3 .

D_f = Densidad relativa del medio o fluido en Kg/m^3 .

La teoría hidrodinámica considera que el movimiento de una partícula en un fluido no depende solamente de su peso específico, sino también de su tamaño; partículas grandes son más afectadas que las partículas pequeñas. La eficiencia del proceso consiguientemente se incrementa con el tamaño de las partículas. Partículas que son muy pequeñas y su movimiento está dominado principalmente por la fricción superficial responden deficientemente a este método de separación. En la práctica, un control estricto del tamaño de la alimentación es importante para reducir el efecto del tamaño y hacer que el movimiento relativo sea más dependiente de la gravedad.

Según Taggart, (1.945). Si la razón de concentración es mayor a 2.5 ya sea positivo o negativo, la separación gravimétrica será relativamente fácil para el material por debajo de los 0.074 mm (tamaños hasta 200 mallas). A medida que esta razón disminuye, la eficiencia de la separación también disminuye. En valores de 1.75 la concentración será posible para material hasta 0.149 mm (100 mallas). En valores de 1.5 la concentración suele ser muy difícil y valores iguales a 1.25 se consideran la razón límite inferior para la separación húmeda por gravimetría.

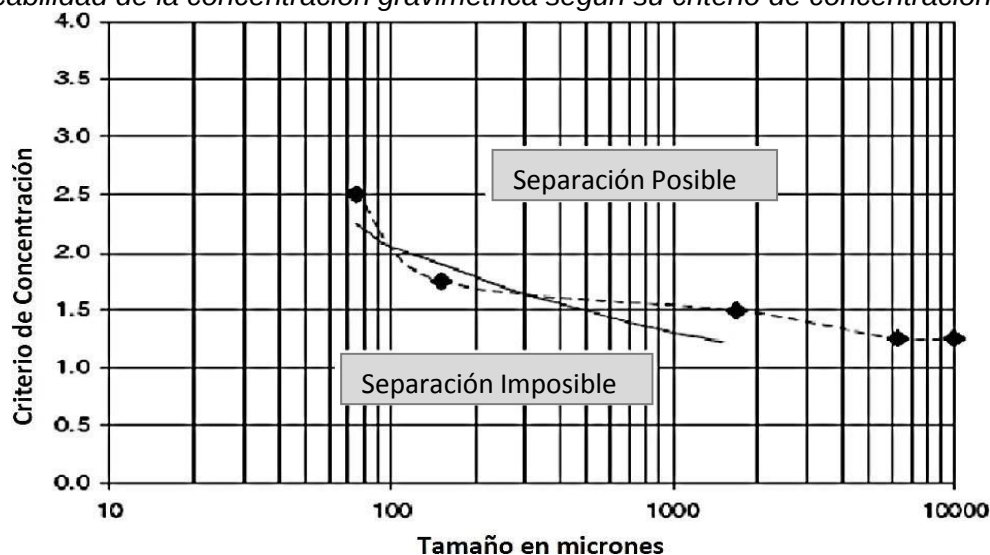
Tabla 3.3.
Valores de Criterio de concentración por Taggart

CC	Significado
Mayor a 2,5	Separación eficiente hasta 200 mallas
2,5 – 1,75	Separación eficiente hasta 100 mallas
1,75 – 1,50	Separación posible hasta 10 mallas, sin embargo es difícil
1,50 – 1,20	Separación posible hasta ¼", sin embargo es difícil

En el gráfico 3.1 se muestra la dificultad de alcanzar una separación eficiente cuando se tratan fracciones inferiores a 200 mallas (74 micrones). Cuantas más pequeñas son las partículas, más fuertes son, con relación a la gravedad, las fuerzas hidráulicas y de viscosidad, por lo cual el rendimiento de la separación por gravedad decrece bruscamente en los intervalos de tamaño fino.

Gráfico 3.1.

Aplicabilidad de la concentración gravimétrica según su criterio de concentración de Taggart



Cálculos de Criterio de Concentración según Taggart:

Muestra 1: yacimiento Achalay, mezcla de las fracciones F1 (Manto), F2 (Veta) y F3 (Pila).

Densidad: 4.07 g/cm³

Dh= 4.07 g/cm³, muestra 1

Df= 1 g/cm³, fluido agua

DI= 2.3 g/cm³, mineral liviano

Muestra 1

$$CC = (Dh - Df) / (DI - Df) = \frac{(4.07 \text{ g/cm}^3 - 1 \text{ g/cm}^3)}{(2.3 \text{ g/cm}^3 - 1 \text{ g/cm}^3)} = 2.36$$

Muestra 2: yacimiento Achalay F3 (Pila) fracción material fino (malla 3/8) malla 40.

Densidad: 4.02 g/cm³.

Dh= 4.02 g/cm³, muestra 2

Df= 1 g/cm³, fluido agua

DI= 2.3 g/cm³, mineral liviano

Muestra 2

$$CC = (Dh - Df) / (DI - Df) = \frac{(4.02 \text{ g/cm}^3 - 1 \text{ g/cm}^3)}{(2.3 \text{ g/cm}^3 - 1 \text{ g/cm}^3)} = 2.32$$

Muestra 3: yacimiento Achalay, F2 (Veta) fracción material grueso (malla 3/8), malla 60 (fino + grueso).

Densidad: 4.08 g/cm³

Dh= 4.08 g/cm³, muestra 1

Df= 1 g/cm³, fluido agua

DI= 2.3 g/cm³, mineral liviano

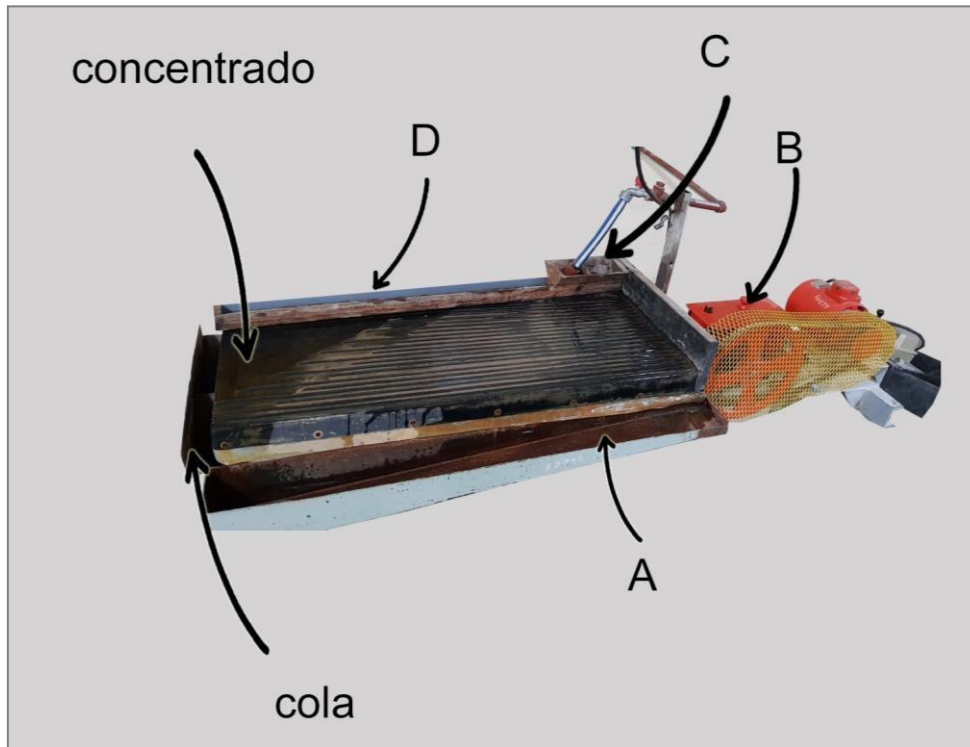
Muestra 3

$$CC = (Dh - Df) / (DI - Df) = \frac{(4.08 \text{ g/cm}^3 - 1 \text{ g/cm}^3)}{(2.3 \text{ g/cm}^3 - 1 \text{ g/cm}^3)} = 2.36$$

3.3. 4. 1 Mesas vibratorias

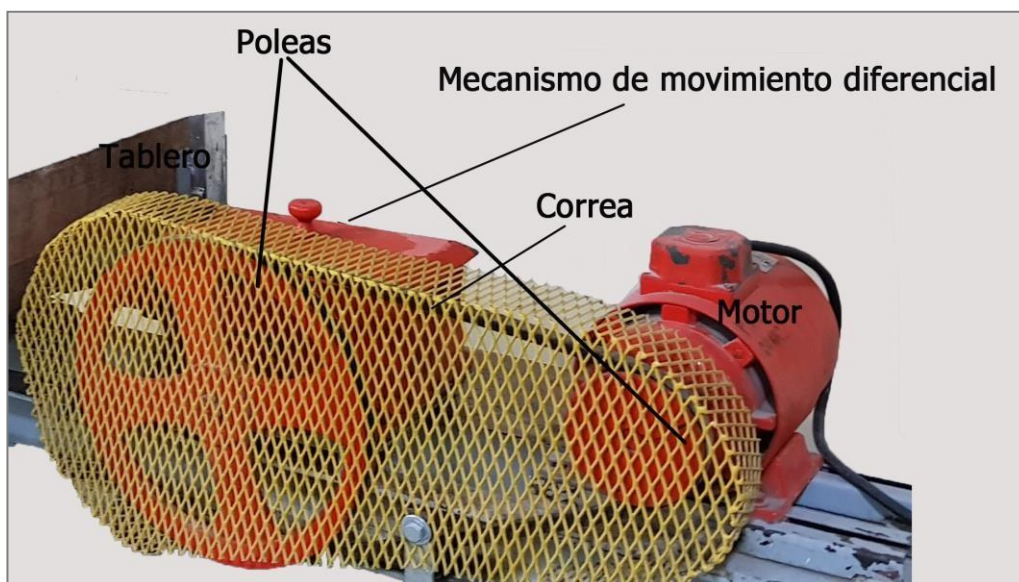
El equipo consiste en mesa de superficie plana ligeramente inclinada, denominada tablero **(A)** a la cual llega la pulpa por medio de un cajón alimentador y es distribuida a lo largo de **(C)**; el agua de limpieza es suministrada a lo largo de la canaleta **(D)**, representada en la Figura 3.11.

Figura 3. 11.
Mesa vibratoria



La mesa se desplaza longitudinalmente, por medio del mecanismo (B) como se observa en la siguiente Figura 3.12.

Figura 3.12.
Movimiento diferencial mesa vibratoria

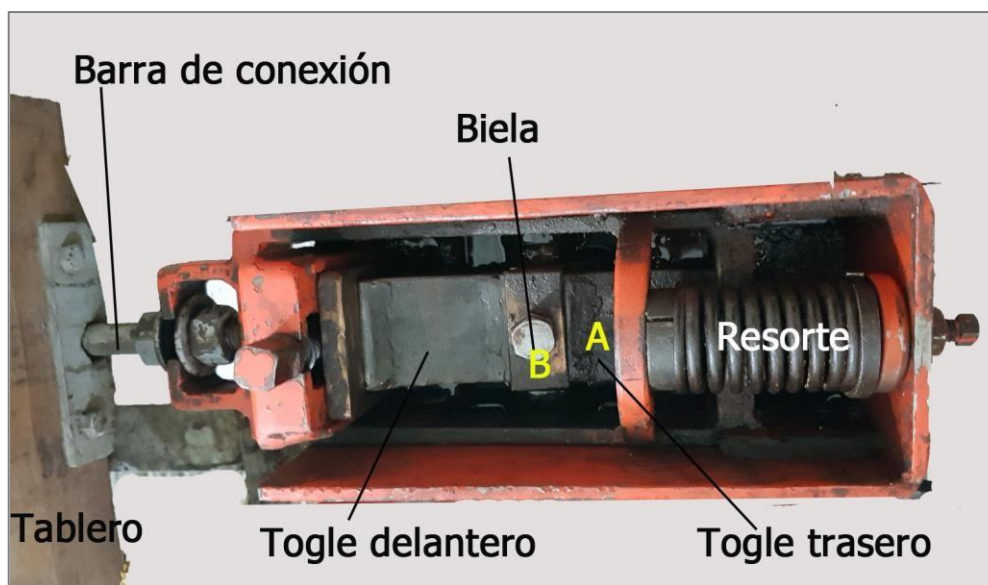


El mecanismo consiste en un excéntrico sobre un eje movido por una polea, biela, togles y una horquilla (Figura 3.13). El movimiento excéntrico consiste en un avance rápido que termina bruscamente para transmitir a las partículas impulso a lo largo del rifle. El retorno es lento para no provocar el retorno de las partículas al inicio.

Siendo uniforme el movimiento de la polea, la velocidad del tablero irá aumentando en el movimiento hacia delante hasta llegar al máximo. El movimiento de retroceso empieza con la velocidad máxima y termina con la mínima. En el movimiento hacia atrás, se comprime el resorte y en el movimiento hacia delante se extiende.

Figura 3.13.

Vista superior, partes del mecanismo de movimiento diferencial



Los tableros de las mesas generalmente son construidos en madera, forrados con materiales resistentes a la fricción, tales como linóleo, goma y plásticos.

El tablero de la mesa está cubierto parcialmente por listones denominados rifles. Se pueden diseñar los rifles para el material a tratar, para el tamaño del mismo. Estos rifles influyen en la capacidad de separación de la mesa de concentración.

Puesto que algunos componentes de la mesa de concentración pueden ajustarse ágilmente (tales como velocidad de golpe, caudal de agua, ángulo de inclinación), es posible realizar modificaciones rápidas para adaptarlos a las variaciones en la cantidad y calidad del material tratado. Se identifican durante el empleo de estos sistemas dos etapas de trabajo:

- **Etapla “Rougher”:** más agua, más mena, más inclinación, golpes largos y rifles completos.
- **Etapla “cleaner”:** menos agua, menos mena, menor inclinación, golpes más cortos y rifles parciales.

También se han determinado modificaciones operativas de acuerdo a la granulometría del material tratado:

- **Alimentación fina:** menos agua, menos alimentación, mayor velocidad, golpes más cortos y rifles bajos.
- **Alimentación gruesa:** más agua, más alimentación, menor velocidad, golpes largos y rifles altos.

3.3.4.2 Principio de Funcionamiento de la Mesa Concentradora

El material es alimentado en la esquina más elevada del tablero, que está inclinado con respecto a la horizontal de la mesa. La alimentación avanza en sentido longitudinal hacia el extremo opuesto del tablero gracias al movimiento de sacudidas de la mesa en la dirección del eje más largo.

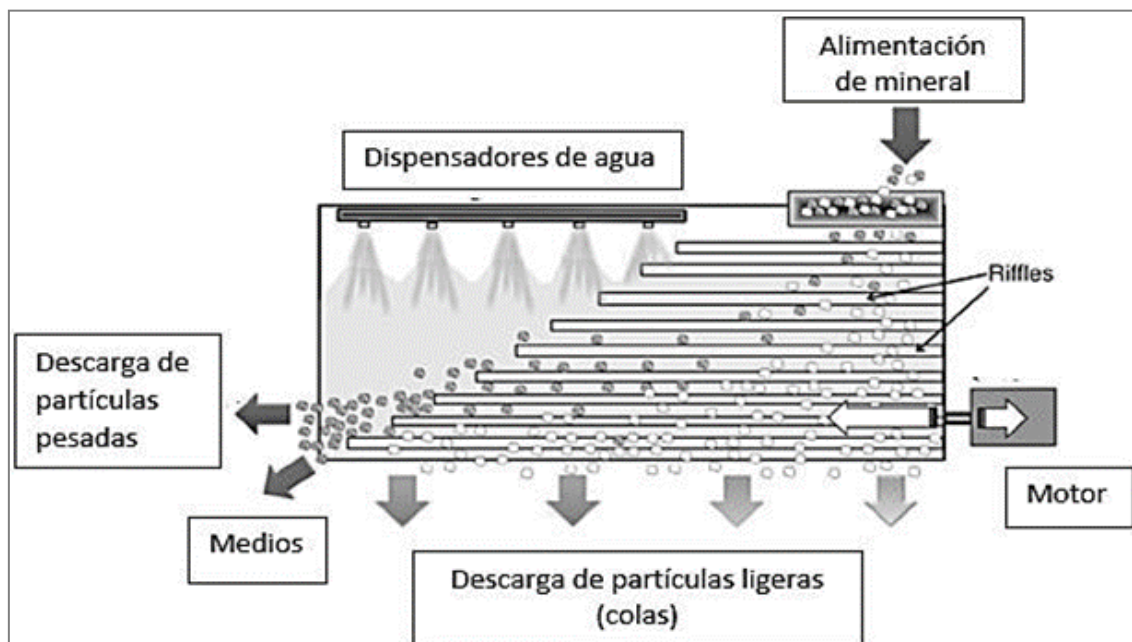
Una corriente suave de agua aportada a lo largo del borde superior del tablero, la cual forma una lámina líquida y provoca turbulencias entre los rifles, permite clasificar las partículas retenidas por ellos según su densidad. Las partículas más ligeras debido al movimiento no han sedimentado en el tablero, mientras que las partículas pesadas, sedimentadas en la mesa, no son afectadas por la corriente de agua y avanzan hacia el extremo de salida gracias a las

sacudidas a que está sometido el tablero.

Los minerales están sujetos a dos fuerzas, una debida al movimiento de la mesa y otra en ángulo recto a la mesa debida a la lámina de agua. Así las partículas se mueven en forma diagonal a través de la mesa desde la alimentación, teniendo en cuenta que el efecto de la lámina de agua depende del tamaño y densidad de las partículas; estas se dispersan en la mesa. Las partículas pequeñas y densas se mueven hacia el cajón del concentrado, mientras que las partículas grandes y livianas son llevadas al cajón de la cola, que corre a lo largo de la mesa.

Figura 3.14.

Distribución de los productos en la mesa



3.3.4.3 Movimientos de Partículas sobre el Tablero

Una partícula que esta sobre el tablero cuando éste empieza a moverse hacia delante, retenida por la fricción empezará a moverse e irá aumentando su velocidad junto con velocidad del tablero.

Al llegar a su velocidad máxima el tablero se detiene bruscamente e inicia el movimiento de retroceso también con la velocidad máxima, pero la partícula seguirá moviéndose hacia delante

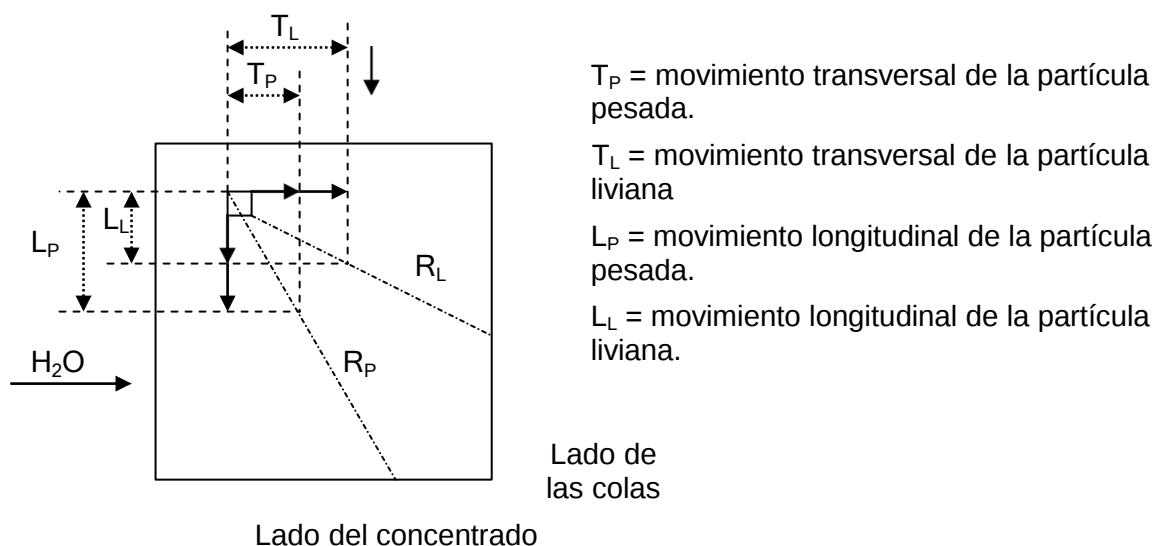
en virtud del principio de inercia, hasta consumirse en fricción la cantidad de movimiento adquirido.

El espacio recorrido será proporcional a la cantidad de movimiento, puesto que la carrera hacia delante del tablero empieza con la velocidad mínima y la aceleración va creciendo paulatinamente, la fricción será suficiente para retener a la partícula sobre el tablero y aquella no podrá retroceder sobre este.

Si comparamos el movimiento de dos partículas, una liviana y la otra pesada, que parten de un mismo punto del tablero recorrerán trayectorias divergentes que resultan de la composición de sus movimientos, según se ve en el diagrama siguiente.

Figura 3. 15.

Distribución de las partículas livianas y pesadas en la mesa, según la resultante de sus movimientos.



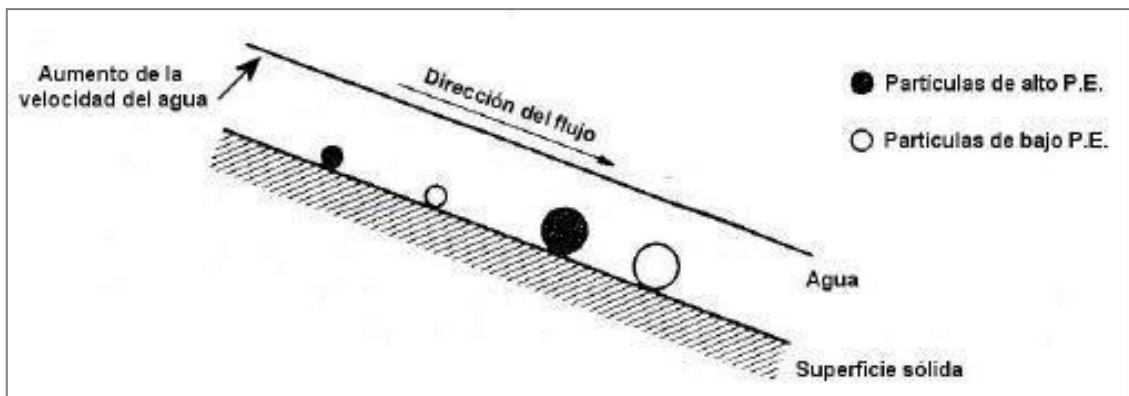
3.3.4.4 Efecto de la Película de Flujo Laminar

Cuando una lámina de agua está fluyendo sobre una superficie inclinada, la lámina más cercana a la superficie es retardada por la fricción del agua absorbida en la superficie; la velocidad aumenta hacia la superficie del agua. Si partículas minerales son introducidas

en la lámina, las partículas pequeñas no se moverán tan rápido como las grandes, ya que ellas se sumergirán en la porción más lenta de la lámina. Las partículas de alto peso específico se moverán más lento que las partículas más livianas, y así un desplazamiento lateral será producido (Figura 3.16).

Figura 3. 16.

Movimiento de las partículas en la película de flujo laminar



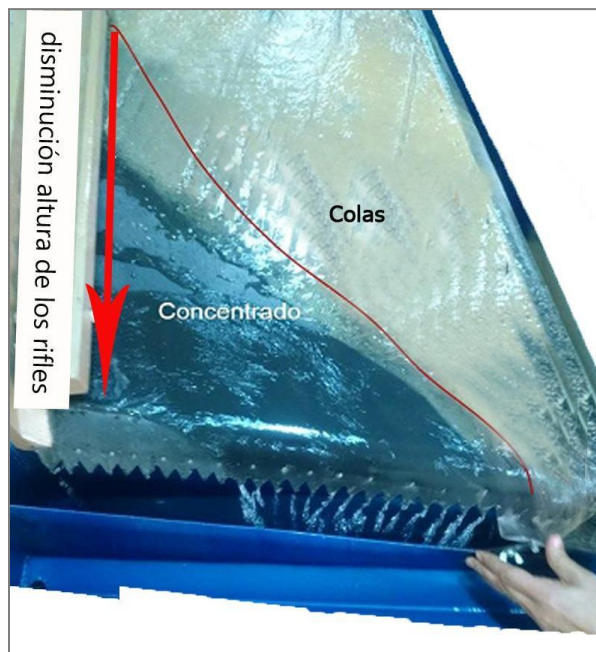
3.3.4.5 Efecto de los Rifles

Los mecanismos de separación que actúan en la mesa vibratoria pueden ser mejor comprendidos si se consideran separadamente la región de la mesa con rifles y la región lisa. Las partículas minerales alimentadas en la tolva de alimentación, transversalmente a los rifles, sufren el efecto del movimiento asimétrico de la mesa, resultando en un desplazamiento de las partículas hacia adelante; las partículas pequeñas y pesadas se desplazan más que las partículas gruesas y livianas. En el espacio entre los rifles, las partículas se estatifican debido a la distribución causada por el movimiento asimétrico de la mesa y por la turbulencia de la pulpa a través de los rifles, haciendo que los minerales pesados y pequeños queden más próximos a la superficie que los grandes y livianos. Los estratos superiores son arrastrados por sobre los rifles por la nueva alimentación y por el flujo de agua de lavado transversal. Los rifles van disminuyendo de altura en dirección longitudinal desde la zona de alimentación hacia la zona de concentrado, permitiendo que las partículas finas y pesadas sean puestas en contacto con la lámina de agua de lavado que pasa sobre los rifles. La concentración final tiene

lugar en la región lisa de la mesa, donde la capa de material se presenta más fina, siendo la concentración resultado del movimiento asimétrico del tablero en la dirección de los rifles y de la velocidad diferencial del escurrimiento de la lámina de agua, que perpendicularmente, esparce los minerales de ganga hacia las colas.

Figura 3.17.

Zonas de la mesa de concentración.



Los rifles tienen las siguientes funciones: ocultar las partículas pesadas para la transmisión de las sacudidas y exponer las partículas grandes y livianas al flujo transversal de agua de lavado después de la estratificación y tornar el flujo turbulento para producir la separación entre las partículas.

Figura 3. 18

Estratificación progresiva en los rifles.



3.3.4.6 Factores de Operación de la Mesa

Se describen los factores que se tienen en cuenta para el seteo de la mesa de concentración, las variables operacionales son las siguientes: ángulo de inclinación de la mesa, distribución de los rifles, alimentación, flujo de agua de lavado, frecuencia de vibración de la mesa y longitud del desplazamiento de la superficie de la mesa al vibrar.

1. Ángulo de Inclinación

El ángulo de inclinación es variable y se halla experimentalmente. La mesa tiene dos ángulos de inclinación. La inclinación longitudinal se mide en dirección paralela al lado mayor de la mesa y la inclinación transversal se mide en dirección paralela al lado menor de la mesa.

Figura 3. 19.
Angulo de inclinación



La inclinación de la mesa debe ser la mínima para que permita buena distribución del material en la mesa. El aumento de la inclinación lateral reduce la necesidad de agua de lavado, sin embargo, estrecha los rangos de las diferentes fracciones. Una mayor inclinación se da cuando

el material es grueso o cuando hay deficiencia de agua.

1. Tipo de Alimentación

El límite superior del tamaño de partículas minerales tratadas en las mesas vibratorias es de aproximadamente 2 a 3 mm (para carbón puede llegar hasta 15 mm), mientras que el tamaño mínimo de las partículas que se pueden concentrar en estos equipamientos es del orden de 74 micrones. Es necesario señalar que el tamaño mínimo de los materiales que se pueden tratar en una mesa es función del volumen de agua, del movimiento de la mesa y de la altura de los rifles porque condicionan la posibilidad de escurrimiento de las partículas por sobre los rifles, siendo esencial que las partículas sedimenten para que puedan ser recogidas en el concentrado.

2. Rifles

Los rifles se disponen paralelamente al largo de la mesa, estos disminuyen su altura desde la zona de alimentación hasta que se extinguen en el lado contrario de la mesa, en donde el tablero tiene una superficie lisa. Los rifles deben decrecer hacia la salida del concentrado con el fin de producir la estratificación. Los tipos de enfilados de mesas se pueden dividir en tres categorías: rifles normalizados para limpieza, rifle de limpieza para operaciones muy selectivas y rifle para desbaste o preconcentración.

El espaciamiento entre los rifles es de $\frac{1}{4}$ de pulgada a 2 pulgadas (6,35 mm a 50.8 mm) con alturas de $\frac{1}{2}$ pulgada (12.7 mm) en su parte más profunda en la zona de la alimentación a cero en la zona del concentrado. Otros autores consideran que el espacio entre los rifles debería ser al menos tres veces mayor que el diámetro de la partícula tratada, para así prevenir estancamiento de la partícula.

3. Velocidad y Golpe

Para alimentación gruesa se recomienda un golpe largo y baja velocidad, así como golpes cortos y alta velocidad se usan para arenas finas y limos.

Los diseñadores de mesas concentradoras recomiendan un rango de frecuencia de 230 a 285 rpm y la amplitud de la longitud está alrededor de $\frac{3}{4}$ de pulgada (19.05 mm).

4. Consumo de Agua

El consumo de agua depende del tamaño de la alimentación, del tipo de operación clasificación o limpieza del material, del ángulo de inclinación de la mesa y otras variables de difícil cuantificación. Para clasificar se requiere aproximadamente 2.700 litros por tonelada de mena. Para limpiar se utiliza más agua, aproximadamente 3.700 litros por tonelada.

5. Capacidad

La capacidad de la mesa concentradora depende del ángulo de inclinación, cantidad de agua de lavado, características de la mena, densidades de las partículas útiles y de los estériles, forma de las partículas, granulometría de la alimentación. La capacidad varía de 5 ton/día para materiales finos y 50 ton/día para materiales gruesos.

3.3.4.7 Ensayo de Concentración en Mesa.

Se detalla la metodología seguida en el ensayo de concentración en mesa. El mismo se efectuó en las instalaciones del Asentamiento Universitario Zapala, utilizando una mesa de concentración (Imagen 3.19).

Se detallan las características técnicas del dispositivo utilizado mesa de concentración.

Tabla 3.4

Características técnicas mesa de concentración.

Mesa			
Tablero		Motor	
Largo (cm)	98,5	Potencia (CV)	1
Ancho (cm)	48,2 - 37,5	Tensión (V)	220/380
Máxima inclinación (°)	11°	Corriente (A)	3,45
Carrera (mm)	5	Cos ϕ	0,81
Nº de rifles	21	RPM	1380
Altura del rifle (mm)	3	Diámetro de la polea conducida (mm)	295
Espesor del rifle (mm)	5	Diámetro de la polea conductora (mm)	102,5
Nº de banderillas rómbicas	12		
Dimensión de las banderillas (cm)	3,4		

Imagen 3. 17.

Mesa de concentración.



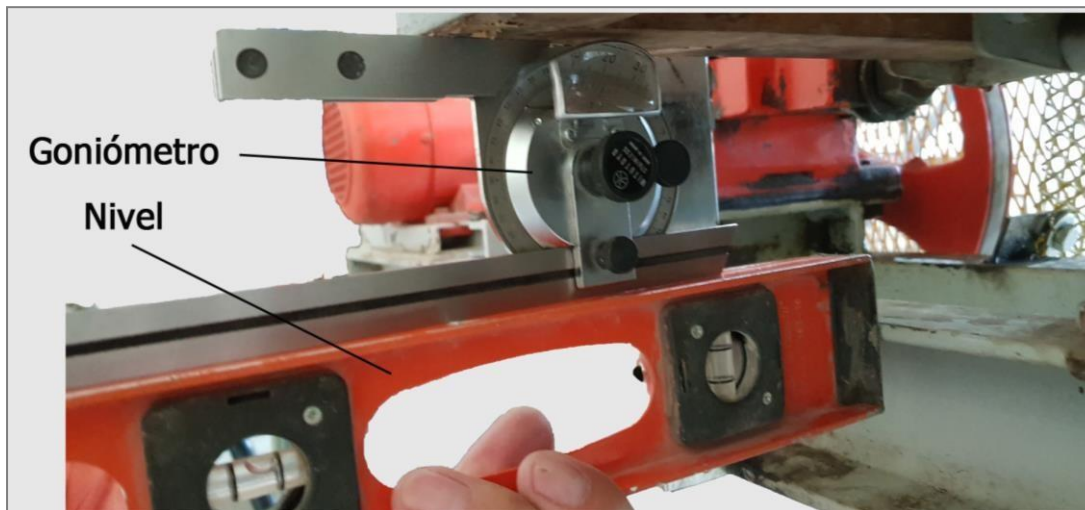
La concentración mineral en mesa se realizó de acuerdo a la teoría de la concentración gravitacional por medio de mesas vibratorias, teniendo en cuenta aspectos fundamentales como, formación de la película de agua, flujo turbulento que se produce entre los rifles para separar las partículas, la aceleración asimétrica y el movimiento de las partículas sobre el tablero.

3.3.4.7.1. Variables de Operación Mesa de Concentración

1. La mesa se regulo con un desplazamiento longitudinal de 5mm, de tal manera que la velocidad fue 479 golpes por minuto. La variación del mecanismo de movimiento se regulo mediante posición de los togles.
2. El caudal de agua se regulo a 600 ltrs/h, con doble alimentación de agua, la primera entrada de agua se mezcló con la alimentación del material y la segunda para realizar el lavado de los minerales, formando la película de agua de flujo laminar.
3. El ángulo de inclinación transversa del tablero se regulo en 1° , medido con goniómetro. El ángulo longitudinal se mantuvo en 0° . Mediante pruebas preliminares se verifico que trabajando con este ángulo de inclinación se logró una correcta distribución del material en la mesa. Ya que cuando el ángulo superaba 1° de inclinación, el material no se clasifica y pasaba directamente a la zona de la cola por acción de la gravedad, no permitiendo el lavado de las partículas en la lámina de agua a través de los rifles (Figura 3.20).
4. De acuerdo al criterio de concentración de Taggart se verifico que el máximo diámetro de la partícula a tratar fuera al menos tres veces menor que el espacio entre los rifles.

Figura 3.20.

Regulación ángulo de inclinación con goniómetro



3.3.4.7.2 Descripción del Ensayo

1. El material seleccionado para el ensayo de acuerdo a la granulometría establecida teniendo en cuenta el criterio de concentración de Taggart se coloca en un recipiente que permita la alimentación de la mesa de manera continua. La alimentación se realizó con el material seco, ya que durante las pruebas de puesta a punto se observó que la diferencia de densidad en el material no permitía una alimentación continua al formarse una pulpa.
2. Se realiza la apertura de las válvulas de agua de lavado y se regula el caudal de agua para la tolva de alimentación y para la canaleta que distribuye el agua en la superficie de la mesa (Figura 3.21).
3. Se acciona el interruptor de funcionamiento de la mesa, verificando su recorrido y velocidad.
4. Se inicia la alimentación de la mesa con el mineral de manera continua (Imagen 3.20).
5. Durante la realización de la concentración en la mesa se observa cómo se

conformaron las distintas corrientes de mineral sobre la misma. De acuerdo con la conformación de estas corrientes, se situaron los colectores para tener una operación de recolección más eficiente. De esta manera el mineral a seleccionar fue llevado hacia la zona del concentrado y la ganga hacia colas.

Figura 3.21.

Caudal de agua.

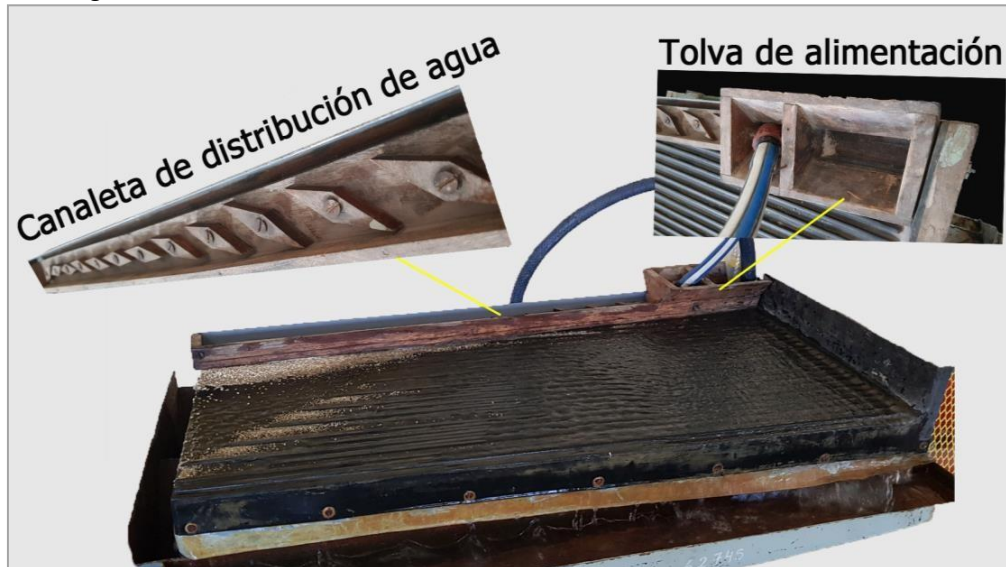


Imagen 3.18

Alimentación mesa de concentración



Capítulo IV

RESULTADOS

4.1 Densidad de Baritina:

Se analizaron cinco muestras, de las cuales, las muestras de baritina del yacimiento Achalay, F1 (Manto) , F2 (veta) y F3 (pila) tienen un valor cercano a la densidad mínima requerida 4,10 g/cm³ según Norma API 13 A para ser utilizada en la industria del petróleo.

Tabla 4. 1.

Resultados determinación de densidad

Yacimiento	Achalay			Llao Llao	
Muestra	F1(Manto)	F2 (Veta)	F3 (Pila)	F4	F6
Densidad (g/m ³)	3,95	4,14	4,12	3,77	3,88

4.2 Análisis Químico Multielemental:

El contenido de óxido de Bario (BaO) se presenta como un elemento mayoritario en las muestras del yacimiento Achalay, F1 (Manto), F2 (Veta) y F3 (Pila), en tanto que en las muestras del yacimiento Llao Llao F4 y F6, el óxido de Bario (BaO) se encuentra como un elemento minoritario.

En la tabla 4.2 se presentan los resultados alcanzados en la cuali –cuantificación de los elementos, expresados al estado de óxidos.

Considerando el bajo contenido de óxido de Bario (BaO) y que los valores de densidad para las muestras del yacimiento Llao Llao F4 y F6 tienen un valor menor al requerido por la Norma API 13 A; se descartan las muestras de dicho yacimiento para el ensayo de concentración en mesa. Se continuó el presente trabajo con las muestras del yacimiento Achalay, F1 (Manto), F2 (Veta)y F3 (Pila).

Tabla 4. 2.

Análisis cuali-cuantitativo por FRX

	Achalay			Llao Llao	
Determinación (g %)	F1 (Manto)	F2 (Veta)	F3(Pila)	F4	F6
BaO	33.389	42.96	40.47	3.132	2.06
SO ₃	22.41	29.95	30.21	37.653	39.09
SiO ₂	33.56	12.26	16.44	8.871	5.13
SrO	3.16	7.09	6.24	47.020	47.55
Fe ₂ O ₃	0.881	0.62	0.19	1.033	1.50
CaO	1.017	3.49	1.44	0.523	2.88
Al ₂ O ₃	3.72	0.12	1.89	1.058	0.18
K ₂ O	0.653	-----	0.56	-----	-----
PbO	0.304	0.30	0.75	-----	-----
MgO	0.076	-----	-----	-----	-----
PPC	0.82	3.17	1.78	0.710	1.60

Los datos de los valores teóricos de Sulfato de Bario (BaSO₄) obtenidos en el presente trabajo.

Tabla 4. 3.

Porcentaje de Sulfato de Bario

Muestras Achalay	F1 (Manto)	F2 (Veta)	F3 (Pila)
BaSO ₄ %	50.75	65.30	61.51

4.3 Clasificación Granulométrica y Determinación en Lupa Binocular:

Las muestras del yacimiento Achalay, F1 (Manto), F2 (Veta) y F3 (Pila), se las clasificó granulométricamente según lo detallado en el capítulo III, Ensayos, punto 3.3.1 y 3.3.2.

Dicha clasificación granulométrica se realizó con el fin de liberar los componentes minerales de las muestras y obtener las características granulométricas que convienen para su utilización

en la concentración en mesa. A continuación las fracciones se cuartaron y se determinó bajo lupa binocular el conteo de los minerales presentes y el porcentaje de los mismos según el procedimiento detallado en el capítulo III, Ensayos, punto 3.3.3.

En relación a la clasificación granulométrica y a la determinación de minerales presentes y porcentajes en lupa, se presentan los resultados en la Tabla 4.4. Aquí solo se detallan los datos de baritina y yeso que son los minerales que se evalúan para realizar posteriormente el ensayo de concentración en mesa. Los datos de los minerales observados y sus porcentajes determinados en la lupa, baritina, celestina, yeso, material lítico, se presentan en el capítulo VI, Anexos.

Todas las fracciones observadas en lupa presentaron porcentajes de baritina, sin embargo en muchas de estas fracciones es alto el contenido de yeso; esto se utilizó como criterio de concentración, para descartar las fracciones con mayor contenido de yeso y continuar con las muestras del yacimiento Achalay, F1 (Manto) fracción fino, F2 (Veta) fracción grueso y fino y F3 (Pila) fracción fino para la concentración en mesa.

Para definir el tamaño de alimentación a la mesa de concentración dentro de las fracciones de las muestras seleccionadas del yacimiento Achalay, se tuvo en cuenta los valores de Criterio de Concentración de Taggart, que se expone en el punto subsiguiente.



Tabla 4.4.

Resultados determinación en lupa binocular

Muestra	F1 (Manto) Achalay				F2 (Veta) Achalay				F3 (Pila) Achalay			
Fracción 3/8	Grueso		Fino		Grueso		Fino		Grueso		Fino	
Malla	Baritina	Yeso	Baritina	Yeso	Baritina	Yeso	Baritina	Yeso	Baritina	Yeso	Baritina	Yeso
8	22,50	49,25	51,25	31,25	56,75	21,25			37,50	28,75	47,50	25,00
20	25,00	48,50	40,00	16,25	45,00	27,50	53,25	21,25	40,50	42,50	48,75	28,75
40	37,25	50,00	32,50	24,25	52,50	19,75	52,50	17,50	38,75	31,25	50,00	33,25
60	32,50	46,25	56,00	20,00	53,25	20,00	50,00	13,75	35,00	31,25	48,75	30,00
80	30,00	50,75	53,50	16,75	40,00	30,00	48,75	17,50	36,25	30,00	48,00	28,00
Fondo	11,25	73,75	15,00	65,00	30,00	50,00	26,75	50,00	25,00	45,00	28,00	50,00

4.4 Criterio de Concentración según Taggart

El cálculo del Criterio Concentración (CC) de Taggart realizado en el Capítulo III, Ensayos, en el punto 3.3.4 Cálculos de Criterio de Concentración según Taggart, nos permitió definir cuál es la fracción más adecuada para la alimentación de la mesa. Las muestras fueron renombradas para simplificar la presentación de los resultados, como se presenta a continuación.

Tabla 4.5

Muestras renombradas

Muestra 1	Mezcla de las fracción #40 retenido de F1, F2 y F3, grueso y fino
Muestra 2	F3 (Pila) fino fracción # 40 retenido
Muestra 3	F2 (Veta) grueso y fino fracción # 60 retenido.

En la Tabla 4.6, se presentan los resultados obtenidos que corresponden a un valor de CC entre 1,75- 2,5 para una separación eficiente hasta 100 mallas. Hay que tener en cuenta que más pequeñas son las partículas, más fuertes son, con relación a la gravedad, las fuerzas hidráulicas y de viscosidad, por lo cual el rendimiento de separación por gravedad decrece bruscamente en los intervalos de tamaño finos.

Tabla 4.6.

Criterios de concentración

Muestra	1	2	3
CC	2.36	2.32	2.36

4.5 Ensayo en mesa de concentración

Teniendo en cuenta la teoría y principio de funcionamiento de la mesa de concentración y que cada equipo debe ser ajustado a las características inherentes al mineral a tratar, los valores operativos empleados en la mesa de concentración se obtuvieron de manera experimental variando la velocidad de golpe, la inclinación del tablero y el flujo de agua; realizando ensayos previos hasta lograr las condiciones más favorables para la concentración.

Como referencia bibliográfica del funcionamiento de mesas de concentración se consideró el trabajo final de “Licenciatura en Tecnología Minera” del AUZA, de María Teresa Alarcón 1.995, “Estudio minero- metalúrgico de la mina Alicia” y el informe técnico de Segemar. Dicho material se adjunta en el Capítulo VI, Anexos.

El ensayo de concentración se realizó con tres (3) muestras, que se renombraron para simplificar la presentación de los resultados y que se detallan en el punto anterior en la Tabla 4.5. Estas muestras fueron preparadas previamente como se describió a lo largo del desarrollo del presente trabajo y se ajustó su granulometría de alimentación para la mesa de concentración de acuerdo a los valores obtenidos en el Criterio de Concentración de Taggart, el cual indica concentración efectiva hasta 100 mallas. Se determinó trabajar con fracciones granulométricas dentro de este rango que tenían mayor porcentaje de baritina .

Tabla 4. 7.

Muestras ensayadas en mesa de concentración.

Muestra	1	2	3
Densidad (g/cm ³)	4.07	4.02	4.08
CC	2.36	2.32	2.36
Malla (retenido)	40	40	60
Porcentaje de Baritina (%)	39	50	52

Una vez finalizada la concentración en mesa, como se describe en el Capítulo III, Ensayos, 3.3.4.7 Ensayo en mesa de concentración, se les realizó el análisis de densidad y análisis químico multielemental FRX a los concentrados. A las colas solo se les realizó análisis químico FRX, ya que no se contaba con 80gr de muestra para realizar la determinación de la densidad. Los resultados de los mismos se presentan en las Tabla 4.8 y Tabla 4.9.

Tabla 4.8

Resultados de los productos concentrados.

Muestra	1	2	3
Densidad inicial (g/cm ³)	4.07	4.02	4.08
Densidad Concentrado (g/cm ³)	3.96	4.10	4.14

Los resultados de los valores de densidad realizada después del ensayo de concentración en mesa de las muestras 2 (dos) y 3 (tres), manifestaron valores dentro del rango de la densidad de baritina para uso en la industria del petróleo, según Norma API 13 A.

Tabla 4. 9

Análisis cuali-cuantitativo por FRX

Elementos mayoritarios %	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
	Concentrado	Cola	Concentrado	Cola	Concentrado	Cola
BaO	46.012	25.160	48.283	32.886	51.374	44.562
SO ₃	31.443	19.322	33.679	25.967	33.588	29.913
SrO	7.634	3.837	7.712	4.621	8.901	6.999
SiO ₂	8.210	34.030	4.584	21.284	2.152	5.220
CaO	2.476	5.498	1.341	4.107	1.926	7.744
Al ₂ O ₃	1.240	5.672	1.192	5.106	0.092	0.225
K ₂ O	0.356	1.721	0.379	1.850		
PbO	0.498	0.769	0.879	0.488	0.018	0.411
Fe ₂ O ₃	0.241	0.921	0.264	0.896	0.196	0.479
CuO	0.032	0.051	0.039	0.025	0.017	0.045
ZnO	0.026	0.031	0.031	0.056	0.016	0.023
MgO	0.023	0.157	0.096	0.206		
PPC	1.810	2.830	1.520	2.510	1.720	4.380

El contenido de óxido de Bario (BaO) se presenta como un elemento mayoritario en las tres muestras 1, 2 y 3; tanto en los concentrados como en las colas.

El SiO_2 se presenta con valores bajos en los concentrados y un poco más alto en las colas. Ésta relación representa que fue efectiva la concentración en mesa de los minerales de baritina.

Los datos de los valores teóricos de Sulfato de Bario (BaSO_4) obtenidos para las muestras ensayadas en la mesa de concentración se presentan a continuación.

Tabla 4. 10.

Valores teóricos Sulfato de Bario

Muestra	1	2	3
BaSO_4 %Concentrado	69.94	73.39	78.08
BaSO_4 %Cola	38.24	49.95	67.73

Capítulo V

CONCLUSIONES

5. Conclusiones

1) Es posible concentrar el mineral de baritina extraído del remanente de la veta del yacimiento Achalay obteniendo los valores de densidad para su utilización en la industria petrolera, tal cual se planteó como objetivo en el presente trabajo.

Los valores de densidad obtenidos en la mesa concentradora hacen posible su uso en el estado alcanzado o combinado con otro material de mayor densidad. En las muestras colectadas para estos ensayos del yacimiento Achalay, el mineral no presentó densidades superiores a $4,14 \text{ gr/cm}^3$, por lo que la concentración realizada obtuvo las densidades máximas posibles para este material.

Para que su comercialización sea factible es necesario certificar los requerimientos físicos y químicos de la Norma API 13 A.

2) El trabajo de concentración de baritina realizado en escala de Laboratorio, demostró que para determinados tipos de menas de baritina el proceso tradicional de concentración es efectivo. Se deja abierta la posibilidad de realizar a futuro ensayos a escala de Planta Piloto.

3) Es posible realizar una separación primaria del material mediante molienda y clasificación por tamaños, ya que de acuerdo a la observación en lupa es posible la separación de baritina mediante esta metodología. Para confirmar lo observado en lupa se deben realizar los ensayos químicos y de densidad a cada fracción.

4) Los resultados obtenidos en la mesa de concentración del AUZa son comparables a los obtenidos en el trabajo final de Alarcón M. T (1.995) y el Informe Técnico realizado en Segemar. Si bien dentro del presente trabajo no es un objetivo la puesta a punto del equipo, durante el desarrollo del mismo permitió dejar en funcionamiento la mesa de concentración para futuros ensayos.

Capítulo VI

ANEXOS

6.1 Resultados Estimación de Porcentajes en Lupa Binocular

Tabla 6.1

Resultados estimación de porcentajes de minerales F1 Achalay (Retenido # 3/ 8 ")

F1 Achalay (Retenido # 3/8")							
Sigla	Malla	Porcentajes de Minerales (%)					
		Baritina	Celestina	Yeso	Maficos	Litico	Total
F2f8	8						
F2f20	20	53,25	25,00	21,25	0,50		100,00
F2f40	40	52,50	30,00	17,50			100,00
F2f60	60	50,00	36,00	13,75	0,25		100,00
F2f80	80	48,75	25,75	17,50	4,75	3,25	100,00
F2ff	Fondo	26,75	18,25	50,00	1,50	3,50	100,00

Tabla 6.2

Resultados estimación de porcentajes de minerales F1 Achalay (Pasante # 3/ 8 ")

F1 Achalay (Pasante # 3/8")							
Sigla	Malla	Porcentajes de Minerales (%)					
		Baritina	Celestina	Yeso	Máficos	Litico	Total
F1f8	8	51,25	13,75	31,25		3,75	100,00
F1f20	20	40,00	37,50	16,25		6,25	100,00
F1f40	40	32,50	35,00	24,25	4,25	4,00	100,00
F1f60	60	56,00	16,25	20,00	2,75	5,00	100,00
F1f80	80	53,50	15,50	16,75	5,75	8,50	100,00
F1ff	Fondo	15,00	5,00	65,00	10,00	5,00	100,00

Tabla 6.3

Resultados estimación de porcentajes de minerales F2 Achalay (Retenido # 3/ 8")

F2 Achalay (Pasante # 3/8")							
Sigla	Malla	Porcentajes de Minerales (%)					
		Baritina	Celestina	Yeso	Maficos	Litico	Total
F1g8	8	22,50	27,50	49,25		0,75	100,00
F1g20	20	25,00	25,00	48,50	1,00	0,50	100,00
F1g40	40	37,25	8,50	50,00	2,75	1,50	100,00
F1g60	60	32,50	7,50	46,25	8,75	5,00	100,00
F1g80	80	30,00	8,75	50,75	10,50		100,00
F1gf	Fondo	11,25	5,00	73,75	5,00	5,00	100,00

Tabla 6.4.

Resultados estimación de porcentajes de minerales F2 Achalay (Pasante # 3/ 8")

F2 Achalay (Retenido # 3/8")							
Sigla	Malla	Porcentajes de Minerales (%)					
		Baritina	Celestina	Yeso	Máficos	Litico	Total
F2g8	8	56,75	21,25	21,25	0,75		100,00
F2g20	20	45,00	27,50	27,50			100,00
F2g40	40	52,50	26,75	19,75	1,00		100,00
F2g60	60	53,25	26,25	20,00	0,50		100,00
F2g80	80	40,00	30,00	30,00			100,00
F2gf	Fondo	30,00	20,00	50,00			100,00

Tabla 6.5

Resultados estimación de porcentajes de minerales F3 Achalay (Retenido # 3/ 8")

F3 Achalay (Retenido # 3/8")							
Sigla	Malla	Porcentajes de Minerales (%)					
		Baritina	Celestina	Yeso	Máficos	Lítico	Total
F3g8	8	37,50	28,75	28,75	5,00		100,00
F3g20	20	40,50	13,75	42,50	3,25		100,00
F3g40	40	38,75	11,25	31,25	8,75	10,0	100,00
F3g60	60	35,00	16,25	31,25	11,25	6,25	100,00
F3g80	80	36,25	17,50	30,00	10,00	6,25	100,00
F3gf	Fondo	25,00	20,00	45,00	5,00	5,00	100,00

Tabla 6.6

Resultados estimación de porcentajes de minerales F3 Achalay (Pasante # 3/ 8")

F3 Achalay (Pasante # 3/8")							
Sigla	Malla	Porcentajes de Minerales (%)					
		Baritina	Celestina	Yeso	Máficos	Lítico	Total
F3f8	8	47,50	27,50	25,00			100,0
F3f20	20	48,75	21,25	28,75		1,25	100,0
F3f40	40	50,00	13,25	33,25	3,50		100,0
F3f60	60	48,75	16,25	30,00	5,00		100,0
F380	80	48,00	20,75	28,00	3,25		100,0
F3ff	Fondo	28,00	20,00	50,00	2,00		100,0

Tabla 6.7

Resultados estimación de porcentajes de minerales F4 Llao Llao (Retenido # 6)

F4 Llao Llao Retenido # 6						
Sigla	Malla	Porcentajes de Minerales (%)				
		Baritina	Celestina	Yeso	Lítico	Total
F4g8	8	50,00	17,50	31,25	1,25	100,00
F4g20	20	47,50	25,00	23,75	3,75	100,00
F4g40	40	35,00	28,75	26,25	10,00	100,00
F4g60	60	45,00	16,25	31,25	7,50	100,00
F4g80	80	32,50	23,75	32,50	11,25	100,00
F4gf	Fondo	23,75	25,00	41,25	10,00	100,00

Tabla 6.8

Porcentaje de minerales para la muestra F4 Llao Llao (Pasante # 6)

F4 Llao Llao (Pasante #6)						
Sigla	Malla	Porcentajes de Minerales (%)				
		Baritina	Celestina	Yeso	Lítico	Total
F4f8	8	37,50	23,75	38,75		100,00
F4f20	20	45,00	26,25	22,50	6,25	100,00
F4f40	40	51,25	11,25	35,00	2,50	100,00
F4f60	60	36,25	27,50	27,50	8,75	100,00
F4f80	80	35,00	27,50	23,75	13,75	100,00
F4ff	Fondo	30,00	23,75	31,25	15,00	100,00

Tabla 6.9.

Porcentaje de minerales para la muestra F6 Llao Llao (Retenido # 6)

F6 Llao Llao (Retenido # 6)						
Sigla	Malla	Porcentajes de Minerales (%)				
		Baritina	Celestina	Yeso	Lítico	Total
F6g8	8	51,25	16,25	32,50		100,00
F6g20	20	51,25	13,75	32,50	2,50	100,00
F6g40	40	31,25	10,00	56,25	2,50	100,00
F6g60	60	28,75	16,25	48,75	6,25	100,00
F6g80	80	26,25	7,50	63,75	2,50	100,00
F6gf	Fondo	27,50	10,00	48,75	13,75	100,00

Tabla 6.10.

Porcentaje de minerales para la muestra F6 Llao Llao (Pasante # 6)

F6 Llao Llao (Pasante # 6)						
Sigla	Malla	Porcentajes de Minerales (%)				
		Baritina	Celestina	Yeso	Lítico	Total
F6f8	8	45,00	15,00	40,00		100,00
F6f20	20	46,25	7,50	42,50	3,75	100,00
F6f40	40	47,25	11,25	37,50	4,00	100,00
F6f60	60	40,00	10,00	36,25	13,75	100,00
F6f80	80	33,75	17,50	36,25	12,50	100,00
F6ff	Fondo	32,50	18,75	41,25	7,50	100,00

6.2. Informe Técnico Segemar Mesa de Concentración

INFORME: Único 21P044.

Solicitante: Universidad Nacional de Comahue OT N°: 18165
 Fecha: 2021/11/19
 Domicilio: Buenos Aires 1400, Neuquén. Página: 1 de 1

Objetivo

Concentración gravitacional en mesa wilfley de una muestra de baritina.

Material Recibido.

Se recibió una muestra de baritina pasante malla N° 16 de la serie ASTM correspondiente a un tamaño de partícula de 1180mm, con la siguiente identificación:

Muestra 1 18165-01

Fecha de recepción

12 de octubre de 2021.

Equipamiento y material utilizado

Mesa Wilfley, estufa de convección, molino de bolas, bandejas, balanza y demás material de laboratorio

Metodología utilizada

Ensayo de Concentración de baritina en mesa Wilfley.

La muestra recibida fue molida en molino de bolas durante 2 hs para llevarla a un tamaño de partícula pasante malla 200 de la serie ASTM.

Luego se preparó una pulpa con una relación sólido/líquido 1:1, la que se usó para alimentar el proceso de concentración en mesa.

Se reguló la mesa en 300 golpes/minuto en un ángulo de inclinación de 4,4°.

Resultados:

Los productos obtenidos se detallan en la siguiente tabla:

TABLA 1. Productos obtenidos en el proceso de concentración.

Producto	Masa (g)	%
Concentrado 1	350,68	7,22
Concentrado 2	138,77	2,86
Mediana 1	166,57	3,43
Mediana 2	43,23	0,89
Mediana 3	825,42	16,99
Cola	3332,50	68,61
total	4857,17	100,00

En las siguientes figuras podemos apreciar el proceso:

Figura 1. Proceso de concentración en Mesa Wilfey



Figura 2. Proceso de concentración en Mesa Wilfey



6.2.1 Resultados Ensayo en Mesa de Concentración Segemar

A los concentrados, medianías y colas obtenidas en la concentración por mesa wilfey se les realizo el análisis de densidad y análisis químico multielemental por fluorescencia de rayos x. Al producto Medianía 2 no se le realizo densidad porque su masa no llegaba a los 80 gr que son requeridos para el análisis. (Tabla 6.11 ,6.12 y 6.13).

Tabla 6.11.

Densidades productos concentrados en mesa Wilfey Segemar

Muestra	Densidad (g/cm ³)
(18165-01) Original	4,07
Concentrado 1	4,03
Concentrado 2	4,04
Medianía 1	3,81
Medianía 3	3,70
Cola	3.66

Tabla 6.12.

Valores teóricos Sulfato de Bario (BaSO₄) en mesa de concentración Segemar

	Concentrado 1	Concentrado 2	Medianía 1	Medianía 2	Medianía 3
BaSO ₄ %	77.56	70.59	59.11	58.83	68.17

Tabla 6.13.

Análisis químico multielemental mesa de concentración Segemar

Elementos mayoritarios %	Muestra 1 :18165-01				
	Concentrado 1	Concentrado 2	Medianía 1	Medianía 2	Medianía 3
BaO	51.030	46.440	38.891	38.710	44.854
SO ₃	35.795	31.648	28.363	27.933	32.087
SrO	8.882	8.231	6.757	6.647	7.530
SiO ₂	1.593	10.275	19.797	20.306	10.969
CaO	1.221	1.635	3.212	3.190	2.192
Al ₂ O ₃	0.035	0.148	0.352	0.677	0.279
K ₂ O			0.213	0.161	0.154
PbO	0.673	0.461	0.303	0.487	0.418
Fe ₂ O ₃	0.181	0.208	0.328	0.303	0.111
CuO	0.030	0.036	0.033	0.034	0.040
ZnO		0.018	0.022	0.011	0.016
PPC	0.560	0.900	1.730	1.540	1.350

6.3 Ensayo en Mesa de Concentración Alarcón, M.T(1.995)Tabla 6.15.

Resultados ensayo en mesa de concentración, Alarcón M.T (1.995), “Estudio minero-metalúrgico de la mina Alicia”. Tesis de grado, página 22.

MUESTRA N°	ALIMENTACION							concentrado		cola		
	D E S I G N A C I O N	GRANULOMETRIA						P E S O		P E S O		
		P E S O	%	%	%	%	%	gms.	A	gms.	A	D
		gms	+ 50	+ 100	+ 150	+ 200	+ 250					
1	3.68	500	11.05	17.39	9.79	16.77	44.2	500	3.76	420	3.69	
2	4.1	500	61.95	6.37	2.62	3.03	25.04	799	4.12	155	4.02	
3	3.91	500	39.72	12.62	6.03	6.62	34.21	800	4	100	3.91	
4	4.19	500	42.04	8.94	4.75	5.13	39.14	870	4.23	60	4	
5	3.11	200	23.93	10.82	12.75	19.74	24.75	300	3.59	600	3.04	
6	2.6	--	--	--	--	--	--	350	3.03	350	2.58	
7	4.02	--	--	--	--	--	--	500	4.04	350	4	
8	3.94	--	--	--	--	--	--	400	4	400	3.96	
9	4.08	--	--	--	--	--	--	470	4.12	320	4.02	
10	4.17	--	--	--	--	--	--	300	4.19	600	4	
*11m	3.77	--	--	--	--	--	--	300	4.08	400	3.86	
*11j	3.77	--	--	--	--	--	--	500	3.92	350	3.74	

TABLA N° 1

*11m (prueba realizada en mesa, muestra originada de reunir 500 grs. representativos de cada muestra)

*11j (prueba realizada en jgg, muestra originada de reunir 500 grs. representativos de cada muestra)

Referencias

Referencias

- Angelelli, V.; Schalamuk, I. B. y Arrospide, A. (1.976) .*Anales XVII Los Yacimientos no Metalíferos y Rocas de Aplicación de la Región Patagonia-Comahue*. p 34.
- Angelelli, V (1.941). *El Yacimiento de Baritina del Cerro Mallín Quemado, Departamento Picunches, territorio Neuquén*. Dirección de Minas y Geología.
- Alarcón, M.T y Hedo, C. (1.995) .*Estudio Minero-Metalúrgico de la Mina Alicia* [Tesis de grado Universidad Nacional del Comahue].
- Alcalá Cruz E.; Flores Corrales, A. y Beltrán Alfonso, A. *Proyecto, Capacitación de Mineros en Escuela Minera de Chiripujio*. Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas - Sergeotecmin
- Arcuri, M. y Zavala, C. (2.006).*Facies de estromatolitos en conglomerados de la Formación Lotena (Caloviano), Cuenca Neuquina, Argentina* .IV Congreso Latinoamericano de Sedimentología y XI Reunión Argentina de Sedimentología. San Carlos de Bariloche, Argentina.
- Arias Hincapié, A.F y Lopera Cano D. (2.014). *Diseño Mecánico De Mesa Gravitacional Wilfley*. [Tesis de grado Facultad de Ingeniería Medellín].
- Baritina 2.022. En Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Baritina>.
- Brodtkorb, M. K. de y R. Etcheverry de Barrio et al. (2014).*Diferentes modelos de depósitos de baritina y celestina de la Cuenca Neuquina, Argentina*.
- Brodtkorb, M.K de y Danieli J.C. (2011). *Los Yacimientos de Baritina y Celestina*. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino.
- Brodtkorb, M. K de; De Barrio, R.E; Del Blanco, M. y Etcheverry, R.O. (1.999). *Geología de los depósitos de baritina, celestina, yeso y halita de la Cuenca Neuquina, Neuquén y Mendoza*. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O.

- Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1041-1046, Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de; Danielli, J. C.; De Barrio, R.E.; Del Blanco, M.; Etcheverry, R. y Schalamuk, I.B. (1.994). *Características Geológicas y perspectivas económicas de los depósitos de baritina y celestina de la cuenca neuquina*. Actas del Encuentro Internacional de Minería, I : 100-105 .
- Casé, A. M.; Giusiano, A.; Danielli, J. C.; Barbieri, M.; Brodtkorb, M.K. de; Brodtkorb, A. (1.988). *El yacimiento de celestina Llao Llao, Provincia del Neuquén*. Actas Tercer Congreso Nacional de Geología Económica.
- Córdova Alarcón (2015). *Estudio de las Variables que Influyen en la Concentración Gravimétrica en Mesa Vibratoria de un Mineral Aurífero Proveniente del Sector Minero La Pangui Distrito Chinapintza*. [Tesis de grado Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador].
- Cannelle, L.E. (1949). *El yacimiento de baritina de la zona del Cerro Mallín Quemado, Departamento Picunches, Territorio de Neuquén*. Tesis de posgrado.
- Casadío S.A et. al. (2.015). *Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros: una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo*. Fundación YPF - Universidadde Río Negro. Páginas 8 – 19.
- Danieli, J.C y Casé, A. M (2.004). *Historia de la Minería Tomo II*. Instituto Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Capítulo 28, p. 237 a 248.
- De Barrio, R. E.; Etcheverry, R.O.; Del Blanco, M. A.; Domínguez, E. A.; Recio Hernández, C.; Escobar R.I y Salvioli, M.A. (2014). *Nuevos datos y esquemas genéticos de los depósitos baríticos- celestínicos vinculados a la secuencia Jurásica-Cretácica de la*

Cuenca Neuquina en la Provincia del Neuquén.

Del Blanco, M. A. y Barbieri, M. (1.999). *Depósitos de baritina y celestina, relacionados a las Formaciones La Manga y Auquilco, Mendoza y Neuquén*. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1057-1069, Buenos Aires.

Escobar, R.I. (2.016). *Geología y génesis de las mineralizaciones baríticoceléstínicas asociadas a la secuencia cretácica entre las localidades de Bajada del Agrio y Chos Malal, Provincia del Neuquén* [Tesis doctoral Universidad Nacional de La Plata].

Estadística Minera 2020. Dirección Provincial de Minería del

Neuquén Especificación Norma API 13 A; (2019). Páginas 15 y 16.

Garrido, A. C. (2.010). "Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico". Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s.12(2): 121-177, 2010. Buenos Aires, ISSN 1514-5158.

Garrido, A. C. (2.005). Importancia científica y turística de los Recursos Paleontológicos y Geológicos del Neuquén. Identificación y Relevamiento de los Recursos Geológicos Consejo Federal de Inversiones.

Giacosa, R. E. (2.017). "Geología estructural y aspectos genéticos de los depósitos de baritina de Mallín Quemado. Faja plegada y corrida del Agrio, Cuenca Neuquina". XX Congreso Geológico Argentino.

Gozalvez, M. R.; Herrmann, C. J.; Zappettini, E. O. (2.004). *Depósitos de minerales industriales de la República Argentina*. Páginas 98 a 107.

Marquina, P. (2.004). Apuntes de la Cátedra de Tratamiento Mecánico de

Minerales.

Tecnología de Procesamiento. Preparación Mecánica y Concentración. AUZa

Martinez Stagnaro, S.Y. (2.016). *Seminario Introductorio de Fluorescencia de Rayos X.*

Cuadernillo de teoría.

Muñoz, A (2.016). *Variación Vertical del Contenido de Bario en la Mina Llao Llao* [Tesis de grado Universidad Nacional del Comahue].

Navarro H. (1983). Geología estructural y económica de Mina Achalay Norte, Departamento Picunches, Provincia de Neuquén. 2° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 1: 285-296, Buenos Aires.

Pavez, O. (2.005). Apuntes. *Concentración de Minerales II.* Universidad de Atacama, Facultad De Ingeniería, Departamento de Metalurgia.

Pelayo Penas (1.966). Baritina: orientación minero- industrial. Mallín Quemado, Achalay. Informe Técnico.

Portilla, C.; Venaruzzo, J. L y Danieli, J.C; (2.005) *.Las Mineralizaciones de baritina de la mina Achalay caracterización del manto y brechas mineralizadas.* [Tesis de grado Universidad Nacional del Comahue].

Reinoso Méndez, J.J. (2.019) *.Determinación de los parámetros operacionales para la Concentración de oro en un espiral.* [Tesis de grado Universidad Del Azuay, FacultadDe Ciencia Y Tecnología, Escuela De Ingeniería en Minas, Ecuador].

Sánchez, C. (2020). Referencias Bibliográficas APA. Normas APA (7ma edición).

Secretaría de Energía (1.987). *Formaciones Geológicas en Argentina.* Yacimientos Petrolíferos Fiscales, páginas 30 -37.

Universidad Nacional de Cuyo, (1.964). *Estudio geológico- económico preliminar de yacimientos de baritina de la Provincia del Neuquén.*

Yucra Espinel, C. F. (2.014). *Informe de Experiencia Profesional en la Mina Corporación Minera Santa Teresa – Puno.* [Tesis de grado Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú].