

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



“EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE DIATOMITAS EN LA CUENCA AYACUCHO Y SUS IMPLICANCIAS ECONÓMICAS”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

Elaborado por:

Bach. José Fabricio Ramirez Carrión

Asesor

MSc. Ing. Alfonso Huamán Guerrero

LIMA – PERÚ

2012

AGRADECIMIENTOS

El estudio titulado “EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE DIATOMITAS EN LA CUENCA AYACUCHO Y SUS IMPLICANCIAS ECONÓMICAS”, no habría sido posible sin el apoyo del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, por haberme permitido efectuar el presente trabajo, por ello mi agradecimiento a sus autoridades.

A mis asesores académicos, el Doctor Humberto Chirif y el Msc. Alfonso Huamán, por su interés y apoyo para llevar a cabo la tesis.

A la economista Alejandra Diaz Valdiviezo y al ingeniero Mario Carpio Ronquillo por transmitirme sus conocimientos y experiencias en el trabajo

A mis profesores por sus enseñanzas impartidas durante la formación académica en la escuela profesional de Ingeniería Geológica, de la Universidad Nacional de Ingeniería. De igual forma a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la elaboración de la presente tesis.

Finalmente quiero agradecer a mi familia, a mis padres y hermanas, por haberme apoyado en la culminación de mis estudios.

ÍNDICE

RESUMEN	Pag.
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades de la Investigación	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.2 Objetivos	1
1.1.3 Importancia del proyecto	2
1.1.4 Metodología de trabajo	2
1.1.5 Antecedentes	3
1.2 Generalidades de la Zona de Estudio	4
1.2.1 Ubicación y accesibilidad	4
1.2.2 Geomorfología	7
1.2.3 Clima, flora y fauna	12
CAPITULO 2: GEOLOGÍA REGIONAL	13
2.1 Geocronología	13
2.2 Rocas Ígneas	19
2.3 Evolución Tectónica	20
CAPITULO 3: GEOLOGÍA LOCAL	24
3.1 Estratigrafía	24
3.2 Marco Estructural	27
CAPITULO 4: YACIMIENTOS DE DIATOMITAS	30
4.1 Generalidades Sobre las Diatomitas	30
4.1.1 Definición	30
4.1.2 Génesis y ocurrencias	32
4.1.3 Consideraciones petrográficas	36
4.1.4 Composición mineralógica y química	37
4.1.5 Propiedades Físicas y químicas	39
4.1.6 Usos	40
4.1.7 Especificaciones generales para su uso	43

4.2 Características de los Principales Yacimientos	46
4.2.1 Yacimiento de Tambillo	46
4.2.2 Yacimiento de Moya	58
4.2.3 Yacimiento de Quicapata	60
4.3 Génesis de los depósitos de diatomitas de la cuenca Ayacucho	62
CAPITULO 5: INVESTIGACIONES DE LABORATORIO	63
5.1 Estudios micropaleontológicos	65
5.1.1 Yacimiento de Tambillo	69
5.1.2 Yacimiento de Moya	71
5.1.3 Yacimiento de Quicapata	72
5.2 Estudio geoquímico	73
5.2.1 Yacimiento de Tambillo	73
5.2.2 Yacimiento de Moya	74
5.2.3 Yacimiento de Quicapata	75
5.3 Estudio petrominagráfico	77
5.4 Estudio por difracción de rayos X	78
5.4.1 Yacimiento de Tambillo	78
5.4.2 Yacimiento de Moya	80
5.5 Estudio por propiedades físicas	81
5.6 Interpretaciones	82
CAPITULO 6: GEOLOGÍA ECONÓMICA	84
6.1 Reservas, recursos minerales, potencial	84
6.2 Explotación y tratamiento de las diatomitas	88
6.2.1 Explotación o minado	89
6.2.2 Tratamiento	89
6.2.3 Productos	91
6.3 Producción y comercio	93
6.3.1 Producción	94
6.3.2 Comercio	98
6.3.3 Precios	102

CAPITULO 7: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	105
---	------------

CAPITULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
---	------------

BIBLIOGRAFÍA	110
---------------------	------------

RELACIÓN DE FIGURAS	Pag.
----------------------------	-------------

Figura 1: Plano de ubicación	6
------------------------------	---

Figura 2: Plano geomorfológico	11
--------------------------------	----

Figura 3: Columna estratigráfica generalizada de la zona de estudio	14
---	----

Figura 4: Plano estructural	29
-----------------------------	----

Figura 5: Ejemplos de diversos tipos de géneros de diatomeas	31
--	----

Figura 6: Ambiente sedimentario para la proliferación de diatomeas	33
--	----

Figura 7: Ocurrencias de diatomitas en el Perú	35
--	----

Figura 8: Sección estratigráfica Cantera San Carlos 5	49
---	----

Figura 9: Sección estratigráfica cantera Geoma I	51
--	----

Figura 10: Sección estratigráfica cantera Zarela I	54
--	----

Figura 11: Sección estratigráfica cantera Compañía Minera Ayacucho	56
--	----

Figura 12: Sección estratigráfica yacimiento de Quicapata	61
---	----

Figura 13: Estimación de reservas por el método de bloques geológicos	86
---	----

Figura 14: Proceso de producción de la diatomita	89
--	----

RELACIÓN DE GRÁFICOS	Pag.
-----------------------------	-------------

Gráfico 1: Clasificación general del consumo de diatomitas de acuerdo con sus usos	41
--	----

Gráfico 2: frecuencia relativa de géneros de las diatomeas de la cuenca Ayacucho	72
--	----

Gráfico 3: Composición química de las diatomitas de Tambillo	73
--	----

Gráfico 4: Composición química de las diatomitas de Moya	75
--	----

Gráfico 5: Composición química de las diatomitas de Quicapata	76
---	----

Gráfico 6: Comparación química de las diatomitas de la cuenca Ayacucho	77
--	----

Gráfico 13: Evolución de la producción de diatomitas en el Perú (años 2000-2010)	95
--	----

Gráfico14: Canteras y ocurrencias de diatomitas en el Perú	96
Gráfico 15: Distribución de la producción mundial de diatomitas por países (USGS, 2010)	98
Gráfico 16: Importación de diatomitas en el Perú por países de origen (año 2010)	99
Gráfico 17: Evolución de la importación peruana de diatomitas	100
Gráfico 18: Exportación de diatomitas en el Perú por países de destino (año 2010)	101
Gráfico 19: Evolución de la exportación peruana de diatomitas	102
RELACIÓN DE TABLAS	Pag.
Tabla 1: Composición química (%) de diatomitas en estado seco (tierra diatomácea en bruto)	38
Tabla 2: Composición química de diatomitas en algunos yacimientos peruanos	39
Tabla 3: Características físicas de las diatomitas en algunos yacimientos peruanos	40
Tabla 4: Especificaciones generales de diatomitas en bruto y productos diatomíticos calcinados	44
Tabla 5: Propiedades físico técnicas de diatomitas norteamericanas (productos comerciales)	45
Tabla 6: Tipos de ensayos para diatomitas de acuerdo a sus aplicaciones	63
Tabla 7: Clasificación de diatomeas	66
Tabla 8: Abundancia relativa de las frústulas en relación a su forma	69
Tabla 9: Abundancia relativa de las frústulas en relación a su tamaño (porcentaje %)	70
Tabla 10: Abundancia relativa de frústulas enteras vs. frústulas fraccionadas (%)	70
Tabla 11: Abundancia relativa de las frústulas en relación a su forma	71
Tabla 12: Abundancia relativa de las frústulas en relación a su tamaño	71
Tabla 13: Abundancia relativa de frústulas enteras vs. frústulas fraccionadas (%)	71
Tabla 14: Análisis químico de las diatomitas del yacimiento de Tambillo	73
Tabla 15: Análisis químico de las diatomitas del yacimiento de Moya	74

Tabla 16: Análisis químico de las diatomitas del yacimiento de Quicapata	76
Tabla 17: Propiedades físicas de las diatomitas del yacimiento de Tambillo	81
Tabla 18: Propiedades físicas de las diatomitas del yacimiento de Moya	81
Tabla 19: Determinación física de las diatomitas calcinadas de Ayacucho	82
Tabla 20: Porcentaje de pérdida por calcinación de las diatomitas de Ayacucho	82
Tabla 21: Resumen de los recursos minerales en los yacimientos de Tambillo, Quicapata y Moya. Año 2011	87
Tabla 22: Detalle de los recursos minerales medidos e indicados	88
Tabla 23: Rangos de calidad para las diatomitas	93
Tabla 24: Producción de diatomita en el Perú por regiones (en toneladas métricas)	94
Tabla 25: Producción mundial de diatomita por países (en miles de t. m.)	97
Tabla 26: Precios de la diatomita en el mercado de estados unidos	102
Tabla 27: Precios referenciales para las diatomitas según los principales usos industriales (valor por t.m.)	103
Tabla 28: Precios de la diatomita importada y exportada en el Perú	104

RELACIÓN DE ANEXOS

Anexo I: Planos

Plano 1: Plano geológico

Plano 2: Plano de yacimientos y ubicación de muestras

Anexo II: Resultados de los estudios micropaleontológicos

Muestra Mte-002-09 Abundancia relativa de las frústulas en relación a su forma

Muestra Mte-003-09 Abundancia relativa de las frústulas en relación a su forma

Muestra Mte-004-09 Abundancia relativa de las frústulas en relación a su forma

Muestra Mte-006-09 Abundancia relativa de las frústulas en relación a su forma

Muestra Mte-010-10 Abundancia relativa de las frústulas en relación a su forma

Muestra Mte-012-10 Abundancia relativa de las frústulas en relación a su forma

Anexo III: Resultados de análisis químicos

Informe de ensayo No. 93938L/10-GEO Métodos Analíticos ICP-AES: ISP-106; LOI : ISP-219

Informe de ensayo No. 119855L/09-GEO Análisis multielemental por fusión de metaborato de litio. ICP AES

Anexo IV: Difractogramas de rayos X

Muestra MTe 006-09

Muestra MTe 007-09

Muestra MTe 008-10

Muestra MTe 011-10

Muestra MTe 012-10

Muestra MTe 013-10

Anexo V: Relación de canteras y concesiones mineras

RESUMEN

Las diatomitas forman parte de las rocas industriales que se producen en el país y que aportan al desarrollo y crecimiento de la economía nacional.

El presente estudio se realizó en uno de los sectores del territorio nacional con importantes recursos minerales de diatomita de buena calidad como es la cuenca de Ayacucho, ubicada en la Cordillera Occidental, al sureste del Perú. Comprende los distritos de Tambillo, La Quinoa y Acos Vinchos, en la provincia de Huamanga, al norte de la región Ayacucho. Es en esta zona donde los recursos diatomáceos se encuentran en volúmenes económicamente explotables.

La caracterización de las diatomitas se realizó mediante observaciones de campo e investigaciones de laboratorio comprendiendo estudios micropaleontológicos; ensayos físicos que determinan el peso específico, densidad seca y húmeda, porosidad y absorción; análisis químicos de multielementos por fusión de metaborato de litio y difracción de rayos x. los resultados de esta investigación y la evaluación de sus recursos minerales permitirán orientar de manera científica y técnica, los usos y la producción de la diatomita en esta región.

Estratigráficamente, las diatomitas se encuentran en el miembro superior de la Formación Ayacucho. Debido a la actividad tectónica que ocurrió en la zona, durante el Mesozoico, se formó una faja subsidente que fue la que constituyó la cuenca Ayacucho. Posteriormente, en el Cenozoico, producto de la fase Quechua I, empezó la actividad volcánica, que dio lugar a las formaciones de las secuencias volcánicas del Oligoceno al Plioceno, contemporáneamente la cuenca alcanzó su mayor desarrollo durante el Mioceno inferior. Fue en este ambiente favorable, donde las diatomeas se nutrieron principalmente de la sílice opalina volcánica y pudieron proliferar y constituir los bancos de diatomitas que son materia de este estudio.

Los recursos minerales medidos e indicados en Tambillo, Quicapata y La Moya para el año 2011, que corresponde al sector estudiado es de 15 623 135 T.M.

Las diatomitas de la cuenca Ayacucho, se han venido explotando desde hace muchos años atrás, siendo el yacimiento de Quicapata, el más explotado. En la actualidad las canteras se explotan artesanalmente, en su mayoría a tajo abierto, sin embargo, en algunas canteras, debido a la sobrecarga de material ignimbrítico se explota en socavones y de forma rudimentaria. Su volumen de producción es pequeño, alcanzando solamente 180 T.M. al año y proviene actualmente de la explotación del yacimiento de Tambillo.

También se analizó el mercado de las diatomitas en el Perú, que en el año 2010 alcanzó 37 841 T.M. correspondiendo el 91.05% de esta producción a la región Arequipa. La comercialización se da a pequeña escala siendo el principal destino, el vecino país de Chile, mientras que la importación proviene principalmente de México y Estados Unidos, en menor volumen de Chile.

Considerando el saldo negativo de la balanza comercial de la diatomita peruana entre los años 1995 y 2009, así como la enorme diferencia del valor de las diatomitas que importamos, que es superior a los \$ 400 por T.M. y la de exportación de los 2 últimos años de \$ 50, debe conllevar a una reflexión y análisis a la empresa privada y al Estado peruano, sobre las alternativas de creación de una industria de transformación de esta roca mineral para darle valor agregado a sus productos para obtener un saldo positivo en la balanza comercial de nuestras diatomitas.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades de la Investigación

1.1.1 Planteamiento del problema

Según estudios anteriores, yacimientos de diatomitas como los de Quicapata, Tambillos y La Quinua, pertenecientes a la cuenca Ayacucho, contienen recursos diatomáceos de más de 5 millones de toneladas, estando dichos yacimientos aun no caracterizados (Agramonte, 1983). Conociendo la importancia del uso industrial de la diatomita en la actualidad en filtros, abrasivos, material absorbente, material de relleno, etc., es necesario estudiar de manera específica estos yacimientos.

Con el presente trabajo se plantea caracterizar los yacimientos de diatomita de Tambillo, Quicapata y La Quinua, determinando su calidad y el uso adecuado que se le pueda dar a estos recursos. Esta caracterización comprenderá la determinación de sus características físicas, químicas y mineralógicas, haciendo uso de técnicas de difracción de rayos X, análisis químicos, análisis físicos como su gravedad específica, densidad aparente, porosidad, absorción, permeabilidad, granulometría y estudios micropaleontológicos.

1.1.2 Objetivos

- Caracterizar individualmente los principales depósitos de diatomita de la cuenca Ayacucho que permita orientar mejor sus aplicaciones y su uso industrial, buscando darle mayor valor agregado.
- Estimar los recursos minerales y la calidad de los principales depósitos de diatomitas de la cuenca Ayacucho, a fin de contribuir en la planificación de su explotación y producción.
- Presentar el estudio y sus resultados como tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo.

1.1.3 Importancia del proyecto

Caracterizar los depósitos de diatomitas en la cuenca Ayacucho y determinando su calidad, cantidad y uso adecuado, decidiendo de este modo su interés social y económico.

1.1.4 Metodología de trabajo

El estudio se dividió en tres etapas: trabajo en gabinete, trabajo de campo y procesamiento de datos e interpretación, las que se describen brevemente a continuación:

La primera etapa consistió en una recopilación, revisión y sistematización de la información bibliográfica existente, referente a las diatomitas en la región Ayacucho y a nivel nacional.

Elaboración de mapas de accesibilidad y ploteo de las principales ocurrencias y canteras de diatomitas de la zona.

La segunda etapa fue el trabajo de campo, consistió de cuatro campañas de 5 días de duración cada una, donde, conjuntamente con la caracterización y toma de datos de los yacimientos se recolectaron muestras representativas para estudios micropaleontológicos, químicos y físicos con la finalidad de determinar la calidad del material. Así también se realizaron levantamientos de columnas estratigráficas en cada yacimiento para una mayor y mejor evaluación.

La tercera etapa consistió en el procesamiento y análisis de datos. Se realizaron ensayos de difracción de rayos X y micropaleontológicos en los laboratorios de INGEMMET, los estudios de propiedades físicas se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Rocas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería y los análisis químicos en los laboratorios de empresas privadas como SGS e INSPECTORATE. Finalmente se interpretaron los resultados y se plasmaron en la presente tesis. Han sido también importantes los resultados de análisis químicos y de propiedades físicas de muestras de Quicapata, tomado de diferentes trabajos de investigación.

1.1.5 Antecedentes

La diatomita es importante debido a sus usos y aplicaciones en la industria, siendo la principal aplicación como material filtrante en la industria de las bebidas. También se utiliza como agente absorbente y adsorbente en la separación de partículas en suspensión, aislantes del calor y del sonido, como aditivo para el concreto, como abrasivo y como carga para la elaboración de diversos productos, como en pinturas, barnices, plásticos, papeles, hule, entre otros.

El interés por estudiar las diatomitas en el Perú se remontan al año 1978 con las primeras investigaciones a cargo de instituciones estatales como el INGEMMET e ITINTEC.

En el año 1978 en base al convenio de cooperación técnica suscrito entre el INGEMMET y el ITINTEC se realizó el estudio denominado “Estudio geológico preliminar de las diatomitas de Quicapata-Ayacucho, por Jorge Agramonte, con la finalidad de conocer cualitativa y cuantitativamente las características del yacimiento y sus posibilidades de aprovechamiento industrial.

En el mismo año se realizaron estudios micropaleontológicos a unas muestras representativas del yacimiento de Quicapata. Las muestras fueron estudiadas por Josefa Ramirez y los resultados se plasmaron en el informe denominado “Estudio paleontológico de dos muestras de diatomita del yacimiento de Quicapata (Ayacucho)”.

En el año 1979 el Departamento de No Metálicos conformado por Jorge Agramonte y Constantino Rospigliosi, efectuaron un reconocimiento geológico preliminar de los yacimientos no metálicos más representativos de Ayacucho, entre ellos los depósitos de diatomitas. Dicho estudio se plasmó en el informe denominado “Proyecto de interés local del departamento de Ayacucho: Reconocimiento Geológico de los Yacimientos No Metálicos del departamento de Ayacucho”.

En 1983, Jorge Agramonte, publica “Las diatomitas de Ayacucho y su paralelo con las de Tarucani y Bayovar” donde describe y compara de manera general estos yacimientos, tomando en cuenta el rol industrial importante que tenía la diatomita por esos años.

En 1993, L. Verdeja; J. Ayala; M. Llavona de la Universidad de Oviedo, España y E. Vasquez; J. Barranzuela de la Universidad de Piura, publican un artículo denominado “Las diatomitas en el Perú” donde realizan un análisis técnico de las diatomitas, el cual incluía resultados físico-químicos y mineralógicos de muestras procedentes de Piura, Ica y Ayacucho.

En 1994, Irma Naranjo, publica la tesis denominada “Evaluación técnica y económica del yacimiento de diatomitas de Quicapata (Ayacucho)” en la que presenta los principales elementos a considerarse durante la evaluación de un depósito de diatomita, como son la calidad de la sustancia, reservas, mercado, así como otros factores como la distancia de transporte, minado, procesamiento requerido, etc.

En el 2004, Cesar Chacaltana, et. al., en el artículo “Tectonotema del Mioceno superior en la cuenca Ayacucho y su relación con el registro de diatomeas” menciona que las capas de diatomitas se encuentran en el miembro superior de la Formación Ayacucho, explicando la evolución de una cuenca lacustre de poca profundidad.

1.2 Generalidades de la zona de estudio

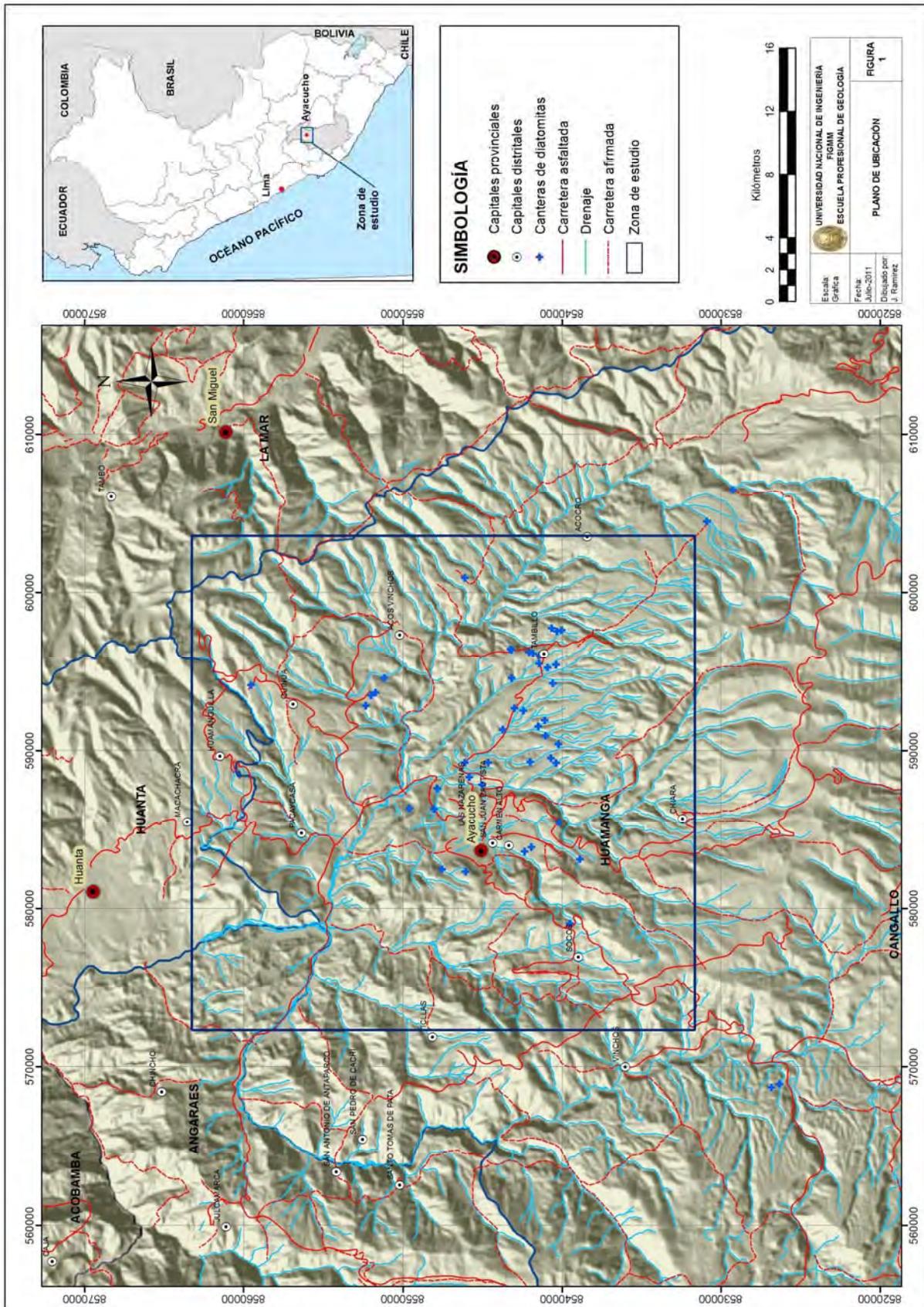
1.2.1 Ubicación y accesibilidad

La cuenca Ayacucho se extiende desde los 12°30' hasta los 13°30' de latitud sur y desde los 73°30' hasta los 74°30' de longitud oeste. De norte a sur comprende los distritos de Acobamba y Churcampa, en Huancavelica, hasta Acocro en Ayacucho.

La zona de estudio comprende los distritos de Tambillo, La Quinoa y Acos Vinchos, en la provincia de Huamanga, al norte de la región Ayacucho (figura 1).

La zona de estudio es accesible por vía aérea y terrestre. Por vía aérea el tiempo estimado de vuelo de Lima a Ayacucho es de 35 minutos. Por vía terrestre se destacan dos vías principales de acceso, la primera es asfaltada en su totalidad y es la mas directa y rápida, sigue la ruta Lima-San Clemente (227 km, Panamericana Sur) y luego San Clemente – Huaytara – Ayacucho (335 km, Carretera Libertadores), con un recorrido total de 562 km. El tiempo estimado es de 8 a 9 horas.

La segunda vía es por la carretera central uniendo las ciudades de Lima, Huancayo y Ayacucho, con un recorrido de 556 km, siendo asfaltada hasta la ciudad de Huancayo (298 km) y afirmada hasta la ciudad de Ayacucho (258 km). El tiempo de duración del viaje es de 10 - 12 horas.



1.2.2 Geomorfología

El desarrollo geomorfológico en la zona, es consecuencia de procesos relacionados con la tectogénesis andina, con unidades sedimentarias plegadas y falladas, que han sido sometidos a una intensa erosión por los procesos geodinámicos.

El actual relieve de la zona de estudio se caracteriza por presentar cadenas de cerros escarpados, en general de pendientes moderadas, con alturas que varían entre los 2800 y 4000 m.s.n.m. con dirección NO-SE; penillanuras disectadas; valles encañonados, con algunos taludes verticales y depósitos cuaternarios ubicados en los fondos de los valles.

Las unidades geomorfológicas existentes en la zona de estudio son: (figura 2)

- Contrafuerte de la Cordillera Oriental
- Penillanuras
- Estribaciones orientales de la Cordillera Occidental
- Valles encañonados
- Terrazas y morrenas

Contrafuerte de la cordillera oriental

Se extiende al este de La Quinoa, donde se observa las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental, comprende una cadena de cerros con alturas promedio de 4000 m.s.n.m. que cortan superficies subhorizontales. Se extiende en dirección NO a SE pasando por San Miguel. El paisaje ha sido modelado por la acción glaciaria con formación de depósitos fluvioglaciales de tipo morrenas y otros con superficies rocosas paleozoicas de formas aborregadas y valles colgados en forma de "V" (foto 1).



Foto 1: Al fondo se observa la cadena de cerros que comprende la cordillera Oriental, en primer plano valle interandino que divide la cordillera Oriental y Occidental.

Penillanuras disectadas

Se extienden en toda la zona de estudio, desde La Quinoa hasta Acocro. Son relieves subhorizontales desarrollados entre los 2700 y 3500 m.s.n.m. los cuales se hallan surcados por numerosas quebradas y ríos, conformados por llanuras (foto 2).



Foto 2: Relieves de suave pendiente, disectados por quebradas.

Estribaciones orientales de la Cordillera Occidental

Se extiende al oeste de la zona de estudio. Está constituido por una cadena de cerros caracterizados por una morfología bastante escarpada, con picos que sobrepasan fácilmente los 4000 m.s.n.m. También lo constituyen las geoformas agudas de los glaciares y los relieves suaves con los depósitos fluvioglaciares, los que se encuentran cubriendo en diversas formaciones del Grupo Mitu.

Valles encañonados

En la zona existen diversos valles en estadios juveniles, mayormente originados por la acción erosiva de los ríos Vinchos, Cachi, Pongaray, Yucay, Huatata, Chilladazo, etc. en materiales tobáceos durante el levantamiento plio-cuaternario. Las quebradas que constituyen sus afluentes, muchos veces permanecen secos gran parte del año. Los valles y quebradas son angostos con taludes verticales y secciones con formas en “V” (foto 3).



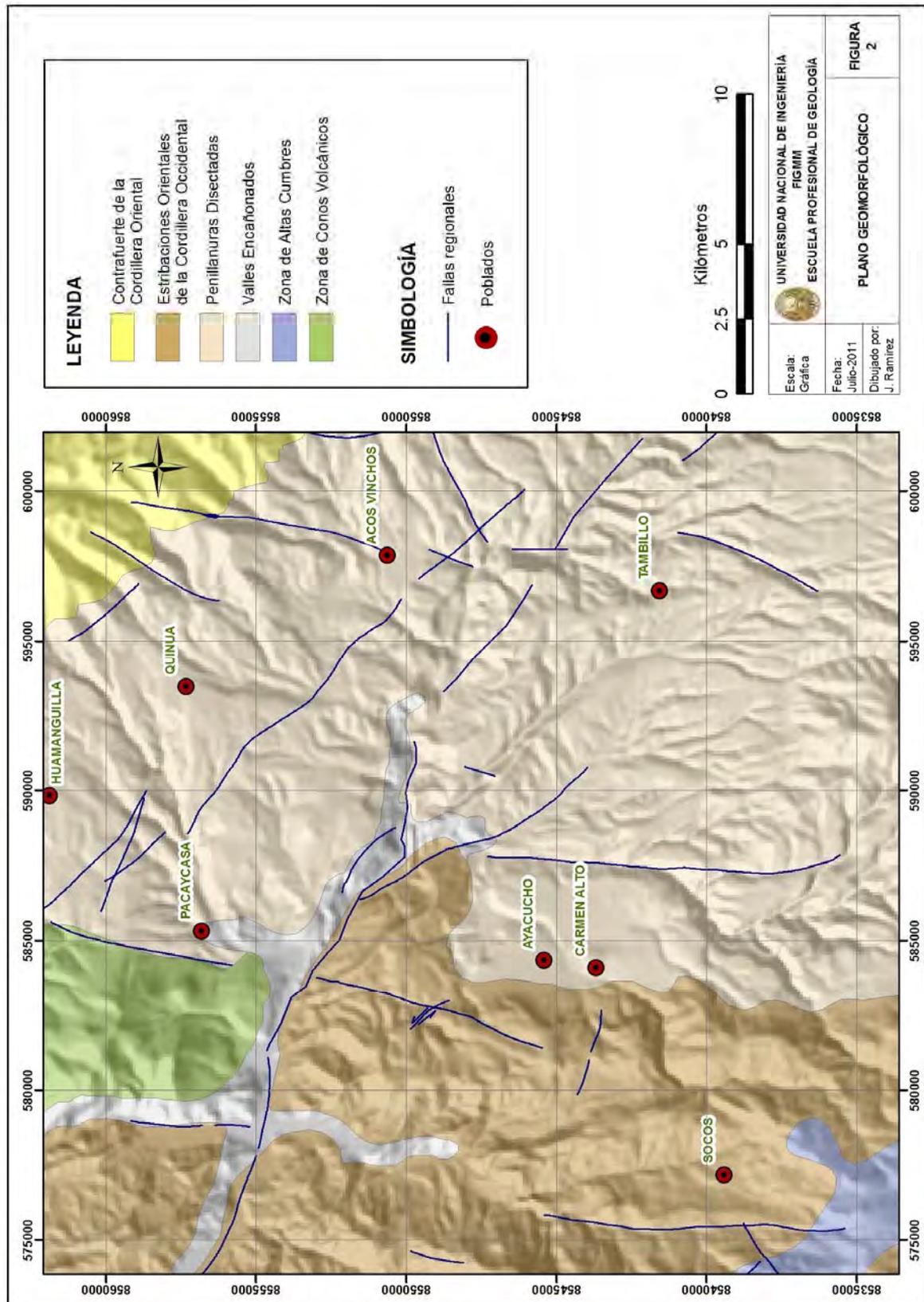
Foto 3: Valle encañonado, con taludes verticales - Quebrada Tirabamba.

Otras geoformas

Terrazas: Superficies de erosión formadas por sedimentación fluvial sobre depósitos cuaternarios antiguos, distinguiéndose terrazas bajas ubicadas en los fondos de los

valles, sobre las que se desarrolla la agricultura y terrazas altas que se observan sobre la penillanura de Ayacucho. Estas terrazas que se encuentran sobre los 2900 y los 3500 m.s.n.m., están constituidos por arcilla, arena, gravas y cubren parcialmente a la Formación Ayacucho.

Morrenas: Son acumulaciones de material rocoso fragmentado, transportado y depositado por la actividad del hielo, presentándose de formas alargadas con pendientes similares en ambos flancos.



1.2.3 Clima, flora y fauna

La zona se caracteriza por presentar un clima templado y seco, donde durante el día se muestra una fuerte insolación y por la noche bajas temperaturas, siendo la Cordillera de los Andes el factor determinante de las características climáticas de la zona. Durante los meses de abril a octubre el clima es seco, con precipitaciones pluviales escasas y durante los meses de noviembre a marzo, las lluvias son frecuentes y abundantes.

La zona tiene una temperatura promedio entre 11° y 13,1° C.

Según la clasificación climática de W. Koeppen, basada en las temperaturas y precipitaciones, la zona comprende tres tipos de climas:

Clima templado moderado lluvioso: Caracteriza a las zonas más bajas con altitudes que varían entre los 1800 y 3200 m.s.n.m. como en la ciudad de Ayacucho. Se caracteriza por tener un invierno seco, templado en el día y frígido en la noche, con una temperatura promedio que varía entre los 12 y 14° C. En la época de lluvias las precipitaciones son 10 veces mayores que el mes más seco.

Clima frío (boreal): Se caracteriza por tener un invierno seco, con una temperatura media superior a los 10° C, este tipo de clima depende exclusivamente de la altura y se presenta en los pueblos de La Quinua, Ascos Vinchos, Acocro, etc.

Clima de tundra seca de alta montaña: Se caracteriza por ser un clima frío, con temperaturas medias mayores a 0° C, este clima se encuentra en las partes más elevadas y con nieves perpetuas.

Flora: La vegetación se encuentra vinculada a los pisos ecológicos que a su vez es dependiente de la geomorfología, siendo contrastante la diversidad de flora en los fondos de los valles y de las zonas más altas. Existen variedades de plantas como el molle, tuna, retama, quinua, cedro, nogal, tara, eucalipto, lambra, cabulla, y la puya Raymondi, que destaca por su peculiar forma.

Fauna: La fauna, igualmente se encuentra vinculada a los pisos ecológicos, siendo característica la presencia de camélidos como las vicuñas, llamas, alpacas y guanacos. Otros mamíferos característicos de la zona son los venados, pumas, zorros, vizcachas. Entre las aves se encuentran los zorzales grises, huipchos, cóndores, gavilanes, palomas, perdices, entre otros.

CAPÍTULO 2 GEOLOGÍA REGIONAL

2.1 Estratigrafía y Geocronología

Las unidades estratigráficas que afloran en la cuenca Ayacucho, están comprendidas entre el Pérmico superior y el Cuaternario (figura 3). Las rocas más antiguas son de edad pérmico-triásico, predominantemente de tipo volcánico y pertenecen al Grupo Mitu. La cuenca Ayacucho que se desarrolló durante el Paleógeno, controló la depositación de las secuencias volcánico-sedimentarias de las formaciones Huanta y Ayacucho. Las rocas cuaternarias comprenden depósitos fluvioglaciares aluviales, coluviales y lagunares.

ERATEMA	SISTEMA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	METROS	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	
CENOZOICO	PLEISTOCENO	DEPOSITOS CUATERNARIOS			Depósitos aluviales y fluviales, compuestos por rodados heterométricos y poligenéticos, cantos rodados y gravas	
	PLIOCENO	FORMACIÓN HUARI			Piroclastos intercalada con estratos de escorias y bombas negras	
	MIOCENO	FORMACIÓN CHAUI ORCO				Conglomerados con clastos volcánicos intercalada con niveles de lavas andesíticas
		FM. AYACUCHO	Miembro Superior	< 3000		Areniscas, conglomerados, limolitas y arcillas tobaceas; con tobas y coladas basálticas, con intercalaciones de niveles de diatomitas
			Miembro Inferior			Areniscas, ignimbritas y conglomerados.
		FORMACIÓN MOLINOYOC		30-1500		Secuencia de lavas oscuras, derrames de lavas en alternancia con brechas y estratos de lapillis y cenizas.
		FM. HUANTA	Miembro Tingrayoc	1000-1200		Areniscas cuarzosas blanquecinas, grano medio a grueso subredondeado, lutitas negras a grises oscuras con presencia de cherts y horizontes calcáreos
			Miembro Mayoc			Areniscas cuarzosas blanquecinas, grano medio a grueso subredondeado, lutitas negras a grises oscuras con presencia de cherts y horizontes calcáreos
	FORMACIÓN SAPANUTA		600		Secuencia lávica andesítica con intercalaciones de piroclastos.	
	OLIGOCENO	FORMACIÓN TICLLAS	800		Secuencia de tobas, lavas y brechas de composición andesítica a riolítica	
MESOZOICO	TRIÁSICO INFERIOR	GRUPO MITU	1000-1500		Secuencia volcánica constituida por lavas y tobas silíceas de composición andesítica riolítica. En la parte inferior contiene sedimentos clásticos	
PALEOZOICO	PÉRMICO SUPERIOR					

Figura 3: Columna estratigráfica generalizada de la zona de estudio (Fuente INGEMMET).

Grupo Mitu

Con el nombre de Grupo Mitu, McLaughlin (1924) reconoció una secuencia volcánica con una composición predominantemente andesítica-riodacítica, que se expone en las cercanías del pueblo del mismo nombre, próximo a Chacayan, en los Andes centrales. Rocas piroclásticas y lávicas de este grupo constituyen la parte inferior de la cuenca Ayacucho, que se encuentran parcialmente cubiertos por las formaciones Huanta y Ayacucho.

Las rocas volcánicas de este grupo están compuestas en su gran mayoría por andesitas de colores violáceos a verdes de textura porfirítica y por ignimbritas riodacíticas hasta riolíticas, de colores violáceos, muy diaclasadas.

En el borde noreste de la cuenca Ayacucho aflora el Grupo Mitu con un espesor de 1500 a 2000 m, constituido por lavas y tobas silíceas. En la parte inferior está constituida por areniscas de grano medio a fino, de color marrón y muy fracturado.

Por la ausencia de fósiles en el Grupo Mitu, la edad ha sido inferida teniendo en cuenta sus relaciones estratigráficas con otras unidades. En la zona de estudio, el techo de este grupo está cubierto por sedimentos de la Formación Ayacucho y Huanta.

El Mitu sobryace al Grupo Copacabana del Permiano inferior e infrayace concordantemente al Grupo Pucará del Triásico superior, por esta razón se le asigna una posición estratigráfica comprendida entre el Permiano superior y el Triásico inferior.

Formación Ticllas

Secuencia de tobas, lavas y brechas de composición andesítica hasta riolítica. Las tobas son de colores claros, con clastos de cristales fragmentados de cuarzo y plagioclasa levemente albitizada en una matriz vítrea y fragmentos volcánicos.

Las lavas son de color gris, de textura porfirítica con fenocristales de plagioclasas y biotitas. La matriz es vítrea recristalizada compuesta por feldespato y cuarzo. Los fragmentos líticos son de naturaleza andesítica de textura porfirítica.

Formación Sapanuta

Constituida por una secuencia lávica intercalada con piroclásticos. Las lavas son andesíticas de color gris oscuro y parcialmente de textura vesicular, subordinadamente se

encuentran bancos de aglomerados y escorias volcánicas. En la base de la secuencia se observa piroclastos de color gris amarillento, con una matriz compuesta por cenizas volcánicas y fragmentos de líticos (andesitas y pómez) con formas angulosas.

Por su posición estratigráfica se le asigna una edad del Mioceno temprano.

Formación Huanta

Fue estudiada por Mégard y Paredes (1972) en los alrededores de la localidad de Huanta. Está constituida por una secuencia volcánico-sedimentaria con un espesor de más de 2000 m, constituida por una alternancia de rocas sedimentarias y piroclásticas. Los afloramientos se encuentran en el sector occidental de la cuenca Ayacucho, presentándose de forma elongada de sur a norte.

Miembro Mayocc: Secuencia clástica de color beige. Litológicamente está constituido por areniscas arcósicas de grano medio, microconglomerados de color rojo y capas lenticulares de yeso alternando con lutitas. La secuencia muestra estratificación cruzada evidenciando ambientes lagunares. Sobre esta secuencia descansan conglomerados heterogéneos de rocas volcánicas, granitos y calizas color verdoso, en alternancia con flujos piroclásticos de coloración amarillenta.

Miembro Tingrayoc: La secuencia está caracterizada por una intercalación de limoarcillitas rojizas, características por su estructura laminar; conglomerados polimícticos, que se presentan en estratos mayores a los 0,3 m; areniscas arcósicas, de textura media a gruesa; niveles de coladas andesíticas y tobas.

La edad de la Formación Huanta se ha obtenido mediante dataciones radiométricas (Megard et al., 1984), que indican edades entre 11,4 y 9,3 M.a. que la sitúa en el Mioceno medio – superior. Esta secuencia está cubierta por sedimentos volcanoclásticos de la Formación Ayacucho y afectada por una fase de subsidencia de la cuenca Ayacucho.

Formación Molinoyoc

Estudiadas Por Mégard et al., (1984) y Morche et al., (1995). Consiste de una secuencia de lavas oscuras que proviene de los centros volcánicos Molinoyoc. Forman un campo compuesto por conos volcánicos que están constituidos por derrames de lavas en

alternancia con brechas y estratos de escorias, lapilli y cenizas, características de estratovolcanes con múltiples fases de actividad volcánica.

Para estas lavas se obtuvieron edades basadas en dataciones radiométricas por biotita, por el método K/Ar obteniendo resultados de $9,4 \pm 0,5$ Ma y $9,9 \pm 0,5$ Ma (Mégard, 1984), asignándole una edad Miocénica.

Formación Ayacucho

Esta unidad fue estudiada por Mégard y Paredes (1972, Inédito) en el cuadrángulo de Huanta y por O. Palacios (1979) en los alrededores de Ayacucho.

Litológicamente esta formación está compuesta por depósitos lacustres (areniscas con lentes de conglomerados, limolitas, arcillas y paquetes de diatomitas). Los afloramientos presentan morfologías suaves, con una característica coloración amarillenta clara, que se observa en los cortes de las quebradas que han sido formados por los ríos. Las rocas de esta formación muestran relieves con suaves pendientes y con estratificación delgada a gruesa.

A lo largo de la carretera Ayacucho hacia Huanta, en la zona de Huasa se puede observar las ignimbritas sobreyaciendo a la Formación Huanta en clara discordancia angular. Igualmente hacia el lado oriental de la cuenca suprayace en discordancia angular al Grupo Mitu y en igual relación a las lavas de la Formación Molinoyoc.

Para esta formación se han reconocido dos unidades como productos de dos fases volcánicas, una explosiva y otra efusiva.

Miembro Inferior: Litológicamente esta constituido por areniscas arcósicas de grano grueso a medio, con estratificación cruzada bien marcada y tobas blancas de composición dacítica, en capas medianas, que se encuentran rellenando paleorelieves. Las tobas son de gran grueso a fino y deleznales, con abundante biotita. Hacia la base las tobas son conglomerádicas, con clastos de andesita y pómez, siendo muy frecuentes los depósitos de conglomerados en paleocanales (en algunos lugares se hacen gruesos para desaparecer lateralmente pasando a arenas y arcillas). Sobreyaciendo concordantemente a esta secuencia se presentan tobas masivas de color rosado, de composición riolítica-

dacítica, de textura porfírica, con grandes fenos de feldespatos, en una matriz de grano grueso constituido por vidrio volcánico, cuarzo y feldespato.

Miembro superior: Está constituido por depósitos lacustres de limolitas, areniscas y algunas arcillitas, con intercalaciones de ceniza volcánica y niveles de diatomita, interestratificados con horizontes de ignimbritas y coladas basálticas. Las areniscas son blanquecinas, con tonalidades grisáceas en estratos de espesores variables, con lentes de conglomerados finos y con algunas intercalaciones de lutitas de color marrón claro. Las ignimbritas tienen una tonalidad grisácea, algo deleznable, sobre estas se encuentran areniscas grises algo conglomerádicas, cuyo espesor variable es de 2 a 3 m, luego el horizonte de diatomita y sobre esta una capa de lodolita marrón de 0,5 a 3 m. de espesor. La base del miembro superior está caracterizado por una secuencia de areniscas notablemente compactadas, con buena estratificación en capas delgadas. Algunos niveles están constituidos por areniscas aglomerádicas, de grano grueso a conglomerádicas con una matriz arcillosa y cemento calcáreo.

Existen dataciones realizadas por Mégard et al., (1984) que dieron como resultado edades de $6,5 \pm 0,4$ Ma y $6,7 \pm 0,3$ Ma, sobreyace a la Formación Molinoyoc y en discordancia angular a la formación Huanta (Mioceno Inferior), se le da asigna una posición estratigráfica del Mioceno medio a superior.

Formación Chaupi Orcco

Secuencia compuesta por conglomerados de naturaleza volcánica (Debris flow) intercalada con algunos niveles de lavas andesíticas y niveles freatomagmáticas.

Aflora al sur de la cuenca Ayacucho, en el cerro Chaupi Orcco, formando un complejo volcánico.

Dataciones realizadas por Mégard et al., (1984) dieron como resultado edades de $7,7 \pm 0,4$ Ma y $7,2 \pm 0,4$ Ma, por lo que se le asigna una posición estratigráfica del Mioceno superior.

Formación Huari

Está compuesto por piroclásticos, alternando con estratos de escorias y derrames de lavas muy oscuras que sobreyacen a las diatomitas de la Formación Ayacucho. En la

ciudad de Ayacucho esta unidad forma un campo volcánico constituyendo centros monogénicos (conos de tobas y escorias) en ambientes lagunares.

Los volcanes de la Formación Huari forman parte del arco shoshonítico que comprende también a los volcanes modernos Oropesa, Rumichaca y San Pedro.

De acuerdo a dataciones radiométricas realizadas por Noble et al., (1975) y Mégard et al., (1984) que dieron como resultado $3,7 \pm 0,4$ Ma y $3,8 \pm 0,4$ Ma, se le asigna una posición estratigráfica del Plioceno superior.

Depósitos cuaternarios

Se consideran los sedimentos no consolidados como:

Depósitos fluviales: Son el producto de la acumulación, a partir de la actividad de los ríos y procesos de deslizamiento. Están constituidos por cantos rodados heterométricos y poligenéticos (gravas finas y gruesas, arenas y limos poco consolidados), producto de la acumulación a partir de la actividad de los ríos y procesos de deslizamiento.

Depósitos aluviales: Estos depósitos son transportados y sedimentados como flujos de barro, producto de climas lluviosos y en zonas donde la topografía es escarpada, rellenando pequeñas depresiones. Están constituidos por material heterogéneo (cantos rodados, gravas, arenas y material limoarcilloso) de diversos tipos de roca.

Depósitos coluviales y eluviales: constituidos por material acumulado en las pendientes de los cerros producto de la alteración de las rocas y con diferentes grados de transporte por la gravedad. Están compuestos por material mal clasificado y de formas irregulares, englobadas en material intemperizado.

2.2 Rocas Ígneas

Granito Querobamba

Consiste de un extenso macizo plutónico que infrayace discordantemente al Grupo Mitu. Petrográficamente es una roca de textura granular, holocristalina, de color blanco

rosáceo, con plagioclasas, cuarzo, fenos de ortosa y hornblenda. Se presenta fuertemente tectonizado y con un marcado fracturamiento.

El emplazamiento de este intrusivo ocurrió con la tectónica hercínica, en su fase tardihercínica, es decir durante el Permiano inferior medio.

Granito San Miguel

Petrográficamente la roca es de color rosado, de grano grueso, constituido por grandes cristales de feldespato con cuarzo, biotita y hornblenda. Este granito intruye al Grupo Mitu, resultando zonas con metamorfismo de contacto.

J. Stewart (1974) obtuvo una edad K-Ar de 251 Ma. Por lo que se podría considerar a estos granitos como probablemente de una edad Permiano superior – Triásico inferior.

Subvolcánico Yanacocha

Aflora al noroeste de nuestra zona de estudio, consiste de ignimbritas de color blanco y matriz fina, distinguiéndose por su textura redondeada.

Tentativamente se asume una posición estratigráfica del Pérmico al Triásico inferior, debido a que corta a las tobas del Grupo Mitu.

2.3 Evolución Tectónica

Entre los procesos tectónicos que han controlado el modelado, se tiene a los fallamientos en bloques, los cuales dieron origen a la cuenca Ayacucho. Así también los diversos plegamientos, que conjuntamente con los procesos erosivos (principalmente causada por los ríos) y la litología dieron la configuración actual del relieve.

Durante el Permiano superior, en la zona se desarrolló un ambiente continental, evidenciado en la litología del Grupo Mitu (conglomerados y areniscas). Además, durante ese periodo se da una intensa actividad volcánica, representada en los emplazamientos de los cuerpos hipoabisales: Microdiorita Buena Vista, Andesita Santo Tomas de Pata y complejo Rontuylla.

Posteriormente ocurre la fase Peruana, de la tectónica Andina, la que afectó al granito de Querobamba, y que asociado con la intensa actividad erosiva de las áreas levantadas tomaron los relieves del Mitu, y ocasionaron la transgresión mesozoica, la que estuvo representada por el Grupo Pucara, sin embargo, el mar no alcanzó a cubrir esta parte de la cadena Hercínica por lo que no se observa afloramientos del Grupo Pucara en nuestra zona de estudio.

Durante el Mesozoico ocurre un fallamiento en bloques a lo largo de las fallas longitudinales de rumbo andino (Megard, 1978), resultando en una faja subsidente, que más tarde constituiría la cuenca Ayacucho.

Después de un hiatus durante el Mesozoico y el Paleógeno, la actividad volcánica empezó (probablemente en el Oligoceno o Mioceno inferior) con la erupción de una secuencia de tobas y derrames de lavas (Formación Ticllas). Posteriormente las secuencias volcánico clásticas, correspondientes al Mioceno-Plioceno (formaciones Huanta y Ayacucho) son afectadas por tres fases discretas de la deformación compresiva Quechua, con lapsos de tranquilidad tectónica y/o desconpresión.

La fase Quechua I (14 – 18 Ma) es una fase de compresión NE-SO que originó un fallamiento de rumbo sinistral que afectó a los volcánicos de la Formación Ticllas y posteriormente produjo un volcanismo que originó la depositación de las secuencias lávicas con intercalación de erupciones tobáceas de la Formación Sallalli. La cuenca alcanzó su mayor desarrollo durante el Mioceno inferior con subsidencias intermitentes, seguidas de erosión y relleno volcánico, que dio lugar a las formaciones Huanta y Ayacucho.

Basado en dataciones radiométricas se le asigna una edad de 14-18 Ma. (McKee y Noble, 1982; Megard et. al., 1984 y 1985)

La fase Quechua II (9 – 10 Ma) desarrolló un plegamiento que afectó una secuencia volcánico-clástica, dentro de la Formación Huanta. Las estructuras desarrolladas son amplios anticlinales y sinclinales que destacan en el nivel de tobas blancas en la parte superior de la Formación Huanta. Así mismo pertenece a esta fase deformatoria, el sistema de fallas Ticllas, que se desarrollan entre San Pedro de Cachi, prolongándose al SE hasta las cercanías de Ticllas.

Basado en dataciones radiométricas se le asigna una edad de 9 a 10 Ma (Megard et. al., 1984), corresponde al Mioceno medio y afecta a la Formación Huanta.

Al fin de la fase Quechua II hubo otra subsidencia profunda de la cuenca Ayacucho, dentro del marco topográfico actual. La erupción de los piroclastos de la Formación Ayacucho, y los derrames lávicos se puede correlacionar con el inicio del próximo evento tectónico Quechua III, de edad de 6 – 7 Ma. (Megard et. al., 1984 y 1985). Las tobas rellenaron toda la cuenca Ayacucho y estuvieron limitadas hacia el norte por el volcánico Molinoyoc. Posteriormente la Formación Ayacucho sufre fases de plegamiento leves (entre el granito de Querobamba y el Grupo Mitu), en combinación con fases de subsidencia paulatinamente de bloques a lo largo del eje central de la cuenca.

Posteriormente a la fase tectónica Quechua III, la cuenca Ayacucho experimento un lapso de tranquilidad tectónica relativamente largo, permitiendo la sedimentación de potentes bancos de diatomitas y sedimentos lacustres.

Hubo una reactivación de fallas dentro de la cuenca Ayacucho, que se evidencio con el emplazamiento de la Formación Huari ($3,8 \pm 0,4$ Ma) resultando en explosiones freatomagmáticas y erupciones de tobas y derrames de lavas.

La cuenca Ayacucho se desarrolló por efectos de la subsidencia en la margen oeste de la Cordillera Oriental. Después de la fase Incaica (Eoceno superior) se inició un fallamiento distensional, evidenciándose en la zona con fallamientos en bloques, resultando una faja subsidente que más tarde constituiría dicha cuenca.

Evidencias:

- Previa a la deposición de las capas rojas de la Formación Socos, la cuenca comenzo a desarrollarse por un fallamiento en bloques, resultando una faja subsidente, la que posteriormente constituiría la cuenca Ayacucho.
- Enorme lenticularidad y adelgazamiento marginal de las diferentes unidades que constituye la Formación Huanta (Secuencia clástica gruesa y de poco transporte) efecto de la erosión de los macizos Razuhilca y Vinchos, los que aportaron activamente materiales para el relleno de la cuenca estructural.

Mégard et al. (1984) interpretó a la cuenca Ayacucho como un foco deposicional, a lo largo de aperturas estructurales de fallas longitudinales paralelas al orógeno. Este sistema de falla (aproximadamente 150 km de longitud) se extiende desde el noroeste de la cuenca Ayacucho. Las fallas se formaron en el Paleozoico y a partir de entonces repetidamente eran reactivadas.

La cuenca Ayacucho está limitada por el lado NE con el macizo Razuhuilca constituido por el Grupo Mitu y por el lado SO con el macizo Vinchos constituido por el Complejo Andesítico Querobamba. Los macizos rocosos de ambos extremos aportaron materiales clásticos a la cuenca estructural, en cuyos márgenes se han desarrollado cambios litológicos. En la parte oriental de la cuenca, los depósitos reflejan estadios tectónicos de baja intensidad, conteniendo capas de diatomitas de ambiente lacustre.

CAPÍTULO 3 GEOLOGÍA LOCAL

3.1 Estratigrafía

En la zona de estudio afloran principalmente rocas volcánico-sedimentarias, que componen la Formación Ayacucho, las que en algunas zonas infrayacen a depósitos cuaternarios aluviales y fluviales.

Formación Ayacucho

El miembro Inferior, se encuentra aflorando en la parte central de la cuenca, siguiendo el lineamiento Ayacucho y hacia el extremo suroeste de la cuenca. En los alrededores de la ciudad de Ayacucho, está constituido por areniscas grises, de grano medio, que presentan estratificación cruzada; ignimbritas blanquecinas, de grano grueso, poco cohesionadas, de composición dacítica, con abundantes biotitas; conglomerados y limolitas. Por otro lado, al noreste de la localidad de Tambillo se observó que sobreyaciendo a las ignimbritas blanquecinas se presenta una secuencia de ignimbritas de color rosado, constituido por vidrio volcánico, cuarzo y feldespato.

Hacia la parte sur de la cuenca, cerca de la localidad de Acocro, el miembro inferior está representado por conglomerados con clastos de rocas volcánicas, tobas con líticos y pómez, envueltos en una matriz de ceniza (foto 4).



Foto 4: Ignimbritas de color rosado pertenecientes al miembro inferior de la Formación Ayacucho

El miembro superior, en la zona de estudio, se encuentran relleno gran parte de la cuenca Ayacucho, generalmente esta constituido por areniscas de color gris oscuro, que presentan estructuras sedimentarias como estratificación cruzada. En la zona de Carmen Alto, estas areniscas se presentan muy compactas y en capas delgadas, extendiéndose hasta La Quinoa, con composición más tobácea y de coloración gris blanquecina. Hacia el sur de la cuenca Ayacucho, en los alrededores de la localidad de Tambillo, se compone de limolitas, horizontes de diatomita y arcillitas con intercalaciones de ceniza volcánica (foto 5).



Foto 5: Capas de diatomitas y arcillitas con intercalaciones de cenizas volcánicas pertenecientes al miembro superior de la Formación Ayacucho

Depósitos cuaternarios

Los depósitos cuaternarios están representados por sedimentos aluviales y fluviales.

Los depósitos aluviales están constituidos por material heterogéneo de formas angulosas a subangulosas, de 0,1 a 0,3 m de diámetro, conformados por cantos rodados, gravas, arenas y material limoarcilloso, procedentes de roca volcánica andesítica, dacítica y riolítica. Mientras que los depósitos fluviales están constituidos por cantos rodados, gravas finas y gruesas, arenas y limos poco consolidados, producto de la acumulación a partir de sedimentos transportados por los ríos Ochaco y Yucay originados por erosión y procesos de deslizamiento (foto 6).



Foto 6: Depósitos aluviales constituidos por material heterogéneo

3.2 Marco Estructural

En la zona de estudio existen dos sistemas principales de estructuras que afectan a la Formación Ayacucho, las mismas que en el presente estudio han sido subdivididas en estructuras mayores y menores. El primer sistema de estructuras, con dirección NO-SE, fue producto de la reactivación de fallas regionales. Mientras que el segundo sistema, con dirección N-S, fue producto de esfuerzos compresivos de dirección E-O, durante la subfase Quechua III.

Estructuras mayores

Entre las principales estructuras, están los lineamientos Ayacucho, Quinua y el sinclinal Ayacucho.

El Lineamiento Ayacucho, con dirección NO-SE, es producto de la reactivación de un sistema de fallas regional, en este caso la Falla Ayacucho, siendo evidencia de ese proceso, los pequeños cuerpos volcánicos que se encuentran a lo largo de dicho lineamiento y que corresponden a la Formación Huari.

El Lineamiento Quinua, paralelo al lineamiento Ayacucho, es producto de la subfase Quechua 3 que afecta a las rocas volcánicas de la Formación Ayacucho.

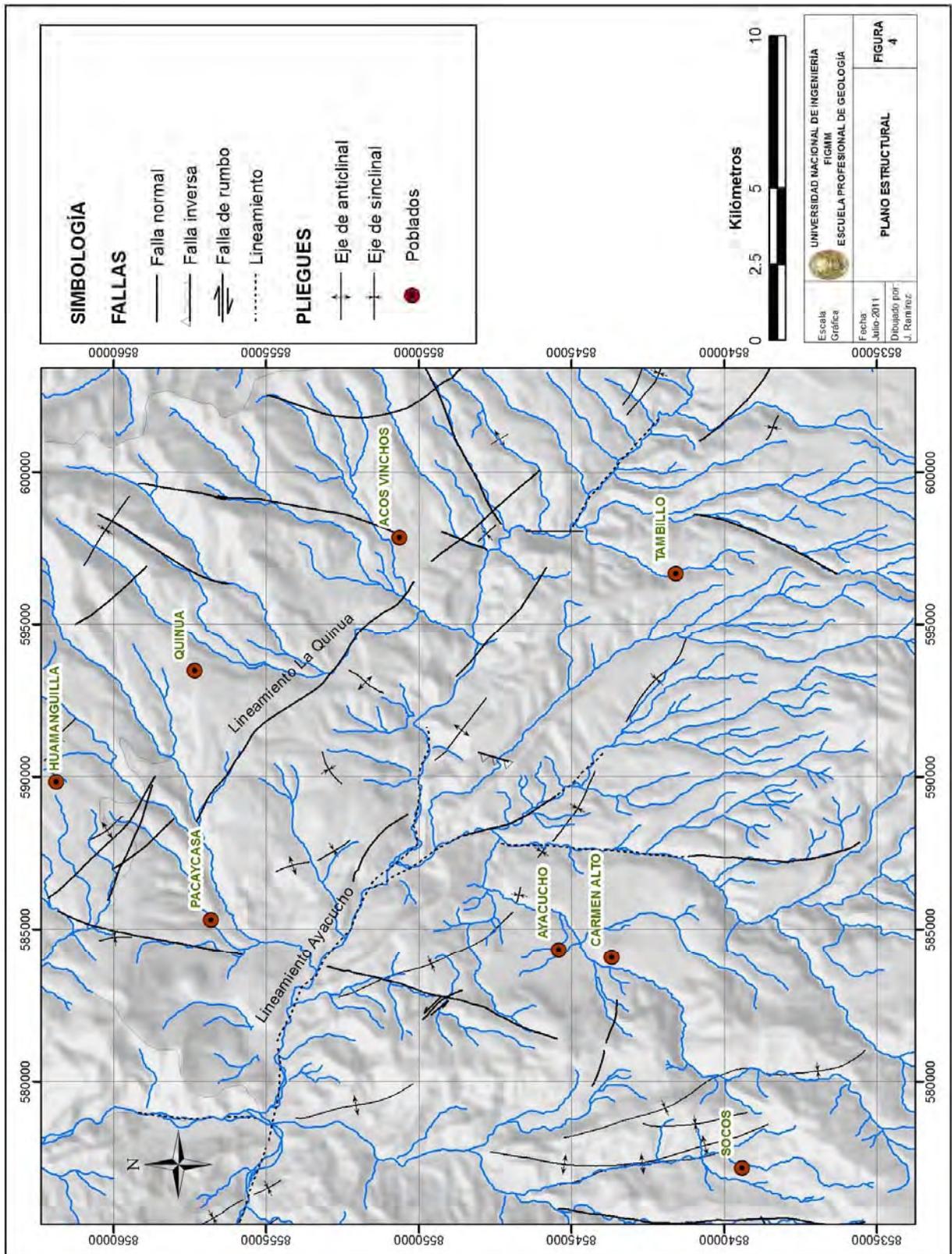
Otra estructura es el sinclinal de Ayacucho que tiene un rumbo general al NO. Desde Quicapata hacia el norte se le puede reconocer en una longitud de 11 km.

Estructuras menores

Como estructuras menores se están considerando fallas de extensiones locales y pliegues.

Los pliegues con dirección NO-SE, que se encuentran cerca de la ciudad de Ayacucho son pliegues sinsedimentarios, que se formaron durante la depositación del material. Mientras que los pliegues con dirección NE-SO son producto de movimientos de rumbo de la Falla Ayacucho.

Las fallas de rumbo N-S son producto de la fase tectónica Quechua 3 (figura 4).



CAPÍTULO 4

YACIMIENTOS DE DIATOMITAS

4.1 Generalidades sobre las diatomitas

4.1.1 Definición

Las diatomitas son rocas sedimentarias silíceas, formadas por la acumulación de frústulas de diatomeas. Esta acumulación se produce en ambientes sedimentarios acuáticos extensos y poco profundos, donde existe una lenta depositación de sedimentos clásticos, en los que el agua contiene abundantes nutrientes y sílice. Además, debe tratarse de medios protegidos de los aportes terrígenos, para que la acumulación sea suficientemente rica en restos silíceos. Las frústulas están compuestas esencialmente por sílice amorfa e hidratada, principalmente del tipo ópalo.

Las diatomeas son organismos básicamente unicelulares que pertenecen a una clase de algas microscópicas, conformada por más de 12000 especies agrupadas en 290 géneros (DAWES, 1991; ROUND et. al., 1990). El nombre científico es Bacillariophyta y según la nomenclatura del sistema propuesto por Round, estas se dividen en tres clases:

- Bacillariophyceae.- diatomeas pennadas con rafe (B de la figura 5),
- Fragilariophyceae.- diatomeas pennadas sin rafe, con simetría bilateral y
- Coscinodiscophyceae (diatomeas céntricas, con simetría cilíndrica (A, C y D).

Son muy abundantes en casi todos los hábitats acuáticos, pudiendo encontrarse solitarias como algas unicelulares o formando colonias, en agua dulce o salobre de acuerdo con su especie.

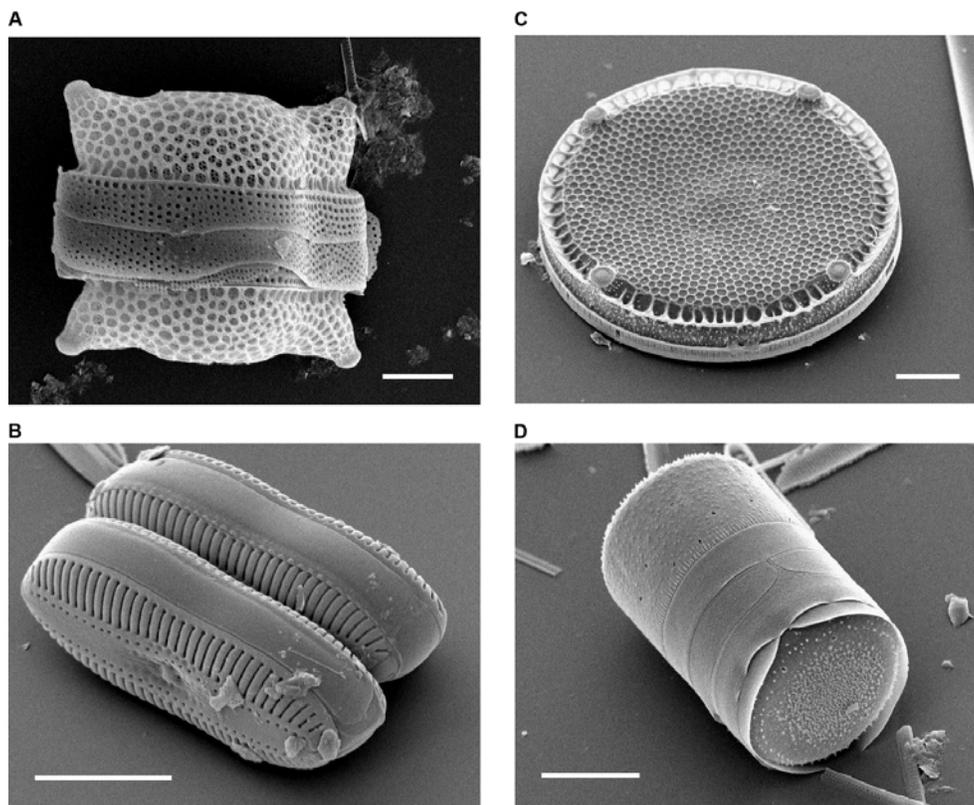


Figura 5: Ejemplos de diversos tipos de géneros de diatomeas:

A. *Bidulphia reticulata*; B. *Diploneis s.p.*; C. *Eupodiscus raidatus*; D. *Melosira varians*.

(Foto: San Diego State University).

El rasgo más distintivo de las diatomeas es su pared celular (frústula o tecla) compuesta de sílice hidratada y proteínas, también denominada sílice opalina polimerizada (SIMS, 2000). La sílice le confiere rigidez a la frústula y origina patrones de estrías que suele servir como rasgos para su identificación. Las frústulas de diatomeas se acumularon durante millones de años, reconociéndose en ambientes continentales desde el Oligoceno y en ambientes marinos, mucho más antiguos, desde el Cretáceo inferior.

Las diatomeas son organismos acuáticos que pueden adaptarse o resistir condiciones de cierta sequedad. Se encuentran en lagos, ambientes marinos restringidos, mares abiertos y océanos. Existe una relación entre la morfología y su hábitat en estos ambientes, siendo las formas pinadas típicamente bénticas, mientras que las centrales forman el plancton tanto en aguas marinas como continentales dulces.

4.1.2 Génesis y ocurrencias

Las diatomeas habitan en la zona fótica de océanos o lagos, usualmente en los primeros 50 o 100 m de la superficie de agua, con concentraciones que pueden variar desde unos pocos millares o varios millones de individuos por litro. Las diatomeas extraen sílice del agua para la construcción de sus caparazones, que están constituidos por sílice opalina, que se caracteriza por no tener una estructura cristalina.

Las diatomeas proliferan en áreas de alta productividad orgánica primaria en los océanos. En la actualidad dichas áreas se sitúan en las franjas subártica y subantártica y en regiones ecuatoriales, así como en áreas de corrientes ascendentes costeras. La extraordinaria abundancia de diatomeas en las aguas de algunas de estas zonas no indica necesariamente una acumulación neta de frústulas debido a la solución de la sílice en profundidad; de hecho se calcula que tan solo 1 a 10% de la sílice fijada por las diatomeas se acumula en los sedimentos de fondo.

Los depósitos de diatomita se sedimentan por gravedad en el fondo de mares o lagos cuando muere la célula, originando la acumulación de restos de frústulas síliceas de diatomeas, donde pueden intercalarse con la sedimentación de fosfatos. Las épocas más propicias para la formación de estos depósitos son aquellas de intensa actividad volcánica, ya que las cenizas volcánicas y polvos silicios expelidos se asientan en el mar o en lagos, constituyendo la fuente de material para la proliferación de estos organismos.

Los depósitos de diatomita también muestran la estabilidad del ambiente en donde se depositaron. La preservación también exige que la diatomita no esté sujeta a las condiciones geológicas que promueven la disolución de la sílice o la conversión diagenética de sílice opalina en chert y que esté protegido de la exposición a temperaturas altas y a aguas subterráneas alcalinas (figura 6).

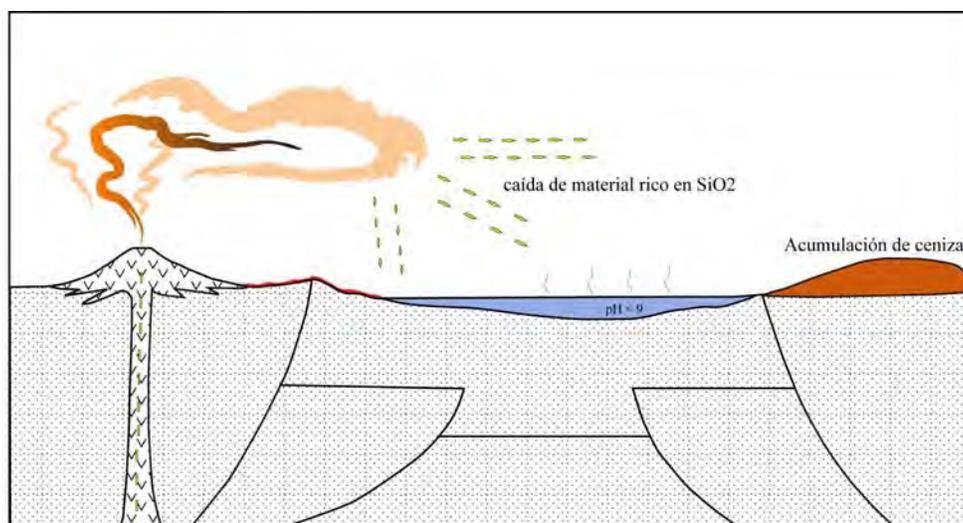


Figura 6: Ambiente sedimentario para la proliferación de diatomeas (Modificado de Alonso R., 1986)

La disolución de las diatomeas está controlada por las variaciones del pH, la temperatura, el tamaño y estado de conservación de las frústulas y la presencia de agentes retardantes de la disolución.

El pH es uno de los factores de mayor importancia, valores de pH mayores a 9, incrementan exponencialmente las tasas de disolución, debido a la disociación del ácido silícico (LEWIN, 1961).

La temperatura y salinidad afectan directamente a la cinética de la disolución, incrementándose en climas cálidos (MARSHALL, 1980) y, por otra parte, reduciéndose a medida que aumenta la salinidad (BARKER et al., 1993).

La presencia de cationes polivalentes adsorbidos en la pared celular de las diatomeas retarda la disolución (LEWIN, 1961) y la saturación del agua ocluida en SiO₂ la acelera (RIPPEY, 1983).

La superficie expuesta de las frústulas también incide en la disolución; a mayor superficie expuesta, mayor disolución, de este modo el fracturamiento, la forma y el tamaño fino de las frústulas contribuyen a acelerar la disolución (RIPPEY, 1983; HURD & BIRDWHISTELL, 1983; JUGGINS, 1992). El fracturamiento de las frústulas puede ser causada por desecación, depredación (SCHRADER, 1971) o procesos postdeposicionales (JUGGINS, 1992).

En el territorio peruano las cuencas sedimentarias marinas se ubican en algunos puntos de la costa actual, como también en la región interandina. Las diatomitas de la costa son

marinas miocénicas y abundan en los departamentos de Ica y Piura, donde forman paquetes sedimentarios con extensión regional (formaciones Pisco, Zapallal, Chilcatay, etc.). La mayor parte de estas diatomitas son impuras y están íntimamente vinculadas con los depósitos de fosfatos. Las diatomitas de las cuencas interandinas son lagunares y en parte muy puras; se encuentran en los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Junín, Ancash, Tacna y se formaron durante el Terciario superior (figura 7).

En Piura, en la cuenca Sechura, se encuentran significativos volúmenes de diatomita en la parte superior de la Formación Zapallal, de edad Mioceno medio, que en la zona presenta una potencia de unos 120 m. La diatomita se presenta alternando con fosforitas, areniscas de grano fino, limolitas y lutitas.

En Ica existen depósitos como el de Santa Rosa, ubicado en el distrito de Ocucaje, donde los horizontes diatomíticos se encuentran en la parte superior de la Formación Pisco, del Mioceno superior. También hay ocurrencias de diatomitas en la Formación Zumaque (Grupo Paracas), en la Formación Chilcatay e intercaladas con las capas areniscosas en la Formación Pisco del Mioceno superior.

En Ayacucho, existen yacimientos como los de Quicapata y Tambillo, donde las diatomitas forman parte de la Formación Ayacucho superior, litológicamente constituida por areniscas con lentes de conglomerados, limolitas y arcillas tobáceas, entre las que se intercalan horizontes de diatomitas.

En Arequipa, yacimientos como los de Tarucani, Chiguata y Polobaya, se encuentran en depósitos lacustres, donde las diatomitas están intercaladas con paquetes de material poco consolidado, compuesto por arcillas y arenas

En Tacna existen depósitos de diatomitas que se formaron en ambientes continentales, como el depósito Berta en areniscas y lutitas de la Formación Moquegua (Terciario superior) y el de Tripartito que es un depósito continental del Holoceno reciente.

Así mismo se tiene conocimiento de la existencia de otros yacimientos como los de Yanacancha en Junín, Recuay en Ancash; Huamali en Puno; Nazca y Marcona en Ica.



4.1.3 Consideraciones petrográficas

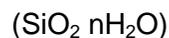
Petrográficamente la diatomita es una roca sedimentaria de grano fino, formada por frústulas de diatomeas que se componen de sílice amorfa, mayormente de tipo opalino. Es extremadamente porosa y terrosa, de bajo peso específico, por lo general de color blanco, presentando en algunos casos matices cremas a grises debido a impurezas (foto 7). Es químicamente inerte y mala conductora del calor y la electricidad; cuando seca es muy liviana, capaz de absorber y retener gran cantidad de líquidos con los cuales tiene grandes superficies de contacto.



Foto 7: Muestra de diatomita

4.1.4 Composición mineralógica y química

Las diatomitas están compuestas por la acumulación de frústulas de ópalo aglutinados con arcillas, cenizas y otras impurezas. El ópalo es un mineral compuesto por iones de silicio y oxígeno agua y algunas impurezas:



La composición química característica de las diatomitas naturales de depósitos que se explotan comercialmente en todo el mundo son: óxido de silíceo (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), hierro (Fe_2O_3) y contenidos menores y trazas de álcalis (Na_2O , K_2O), CaO , MgO y TiO_2 . Sus porcentajes por componentes son aproximadamente:

SiO ₂	65 - 95%
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	0,2 - 8%
CaO + MgO	0,1 - 7%
K ₂ O + Na ₂ O	0 - 5%
H ₂ O + Materia orgánica	4 - 15%

La composición química de diatomitas de diversos yacimientos a nivel mundial se presenta en la tabla 1 y de los principales yacimientos en el Perú se presenta en la tabla 2.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%) DE DIATOMITAS EN ESTADO SECO (TIERRA DIATOMÁCEA EN BRUTO)

Yacimiento, país	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	PPR
Lompoc, California - EE.UU.	89.70	3.72	1.09	0.10	0.10	0.30	0.55	0.31	0.41	3.70
Calvert Form, Maryland - EE. UU.	79.55	8.18	2.62	0.70	-	0.25	1.30	1,31 ¹	-	5.80
Nevada, EE. UU.	86.00	5.27	2.12	0.21	0.06	0.34	0.39	0.24	0.29	4.90
Idaho, EE. UU.	89.82	1.82	0.44	0.07	0.13	1.26	0.54	1.03	0.22	4.02
Jalisco, México	91.20	3.20	0.70	0.16	0.05	0.19	0.42	0.13	0.24	3.60
Loma Camastro, Costa Rica	52.58 - 81.80	3.73 - 16.69	0.92 - 7.66	0.15 - 0.53	0.01 - 0.29	0.21 - 2.53	0.40 - 2.00	0.12 - 1.04	0.15 - 0.87	9.98 - 19.63
Palmira, Ecuador	66.58 - 90.14	1.14 - 14.25	0.33 - 4.12	0.03 - 0.48	0.01 - 0.25	0.15 - 2.50	0.14 - 2.47	0.20 - 1.57	0.08 - 1.21	6.66 - 10.70
Perú	69.20 - 79.00	5.20 - 7.37	1.17 - 2.20	-	-	0.88 - 4.68	2.01 - 6.50	0.85 - 1.18	0.62 - 1.10	-
Arica, Chile	92.45	0.86	0.19	0.02	0.01	0.26	0.11	0.28	0.15	5.25
Brasilia, Brasil	77.80 - 89.20	0.67 - 11.90	0.08 - 0.52	0.02 - 0.52	-	0.08 - 0.26	0.02 - 0.10	0.02 - 0.08	0.02 - 0.18	8.90 - 14.10
Argentina	80 - 90	1.0 - 2.0	1 - 3	0.10	-	0.40 - 4.00	1.40 - 3.00	-	-	4.40 - 4.90
Rift Valley, Kenia	85.37 - 90.32	1.99 - 4.36	0.97 - 2.20	0.10 - 0.17	0.01 - 0.02	0.28 - 0.87	0.15 - 0.27	0.33 - 0.83	0.45 - 0.75	3.53 - 4.96
Chemutsi, Zimbabwe	81.77	2.52	1.60	0.19	0.10	4.87	0.50	0.32	0.40	7.80
Marruecos	60 - 75	5 - 7	2 - 4	-	-	5 - 8	1 - 2	1.00	1.00	-
Algeria	58.40	1.66	1.55	0.10	0.20	13.80	4.57	0.96	0.50	17,48 ²
Albacete, España	88.60	0.62	0.20	0.05	-	3.00	0.81	0.50	0.39	5.20
Bagnolo, Italia ³	84.64 - 93.8	2.84 - 2.90	0.32 - 1.04	-	-	0.14 - 0.44	0.04 - 0.10	-	-	2.80 - 10.94
Borovany, República Checa	80.69	5.36	0.91	0.17	-	0.36	-	-	-	5.23
Lünerburger Heide, Alemania ^{3,4}	71.22 - 89.17	1.82 - 4.09	0.35 - 1.34	0.12 - 0.15	-	Tr.- 0.18	0.20 - 0.22	0.39 - 0.69	0.68 - 0.69	7.07 - 16.17
Pjätigorsk, Rusia ³	87.25 - 93.2	1.2 - 2.0	-	-	-	Hasta 1, 1	Trazas	-	-	4.4 - 10.75
Inzenskoe, Rusia	77.83	6.12	2.22	-	-	0.60	1.02	-	-	9.70
Kamysloskoe Ural, Rusia	79.92	6.58	3.56	0.48	-	1.43	0.98	0.65	0.72	4.91
Australia	49.08 - 88.01	0.34 - 4.44	Tr. - 1.00	-	-	Tr.- 1, 10	0.05 - 0.93	-	-	10,16 - 46,99
Trauna, Valley Papúa Nueva Guinea	80.69	4.39	1.15	0.23	0.01	0.09	0.24	0.20	0.31	12.33
Thimi/Kathmandu, Nepal	65.03	13.06	4.15	0.61	0.03	0.62	1.24	0.58	1.74	12.50
China	64.80 - 92.75	2.57 - 17.06	0.50 - 5.15	-	-	0.24 - 1.37	0.19 - 1.00	-	-	2.89 - 6.92
Nilgata, Japón	86.00	5.80	1.60	0.22	0.03	0.70	0.29	0.48	0.53	4.40
Molererde, Dinamarca	68 - 78	8 - 11	5 - 7	< 1	-	1 - 3,5	1 - 2	2 - 3 ¹	-	0,50 - 3,50

¹ Na₂O + K₂O² contiene un 13,9% de CO₂ análisis de muestras en estado recién extraído ⁴ explotación de diatomita abandonada a finales de 1994.
Fuente: W. Lorenz y W.Gwosdz (2004), *Manual para la evaluación geológica-técnica de recursos minerales de construcción*.

TABLA 2
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE DIATOMITAS EN ALGUNOS YACIMIENTOS PERUANOS

Tipo de yacimiento	LACUSTRE				MARINO		
	Arequipa		Ayacucho		Tacna	Piura	Ica
Región	Maca	Tarucani	Quicapata	Tambillo	Tripartito	Bayovar	Ocucaje
SiO₂	84,89	86,20	89,50	85,78	68,00	65,50	73,80
Al₂O₃	2,62	5,90	2,70	2,71	8,15	2,00	9,70
Fe₂O₃	1,04	1,70	0,90	1,22	3,00	1,30	3,00
CaO	0,94	1,20	1,40	0,64	2,00	9,60	2,90
MnO	0,03	-	-	0,01	0,56	-	-
MgO	0,50	0,60	0,50	0,55	2,57	3,30	1,20
TiO₂	-	-	-	0,14	0,31	-	-
Na₂O	0,92	-	0,10	0,26	1,38	1,90	1,80
P₂O₅	0,01	-	-	0,02	0,33	-	-
K₂O	0,58	-	0,40	0,39	1,45	0,50	1,30
PXC	7,34	3,80	4,45	8,29	11,20	14,75	4,66

PXC: Perdida por calcinación

Fuente: J. Bustamante (1998), Geología, evaluación comparativa y cuantificación de reservas de los depósitos de diatomitas en la región Arequipa; J. Agramonte (1983), las diatomitas de Ayacucho y su paralelo con las de Tarucani y Bayovar; L. Verdaja, et. al. Las diatomitas en el Perú.

4.1.5 Propiedades Físicas y químicas

Las principales propiedades físicas de las diatomitas son el bajo peso específico y la alta porosidad, que son importantes para determinar la calidad de estas diatomitas para fines comerciales, mejorando esta con la proporción de las frústulas de diatomeas que en promedio no debe bajar de 90% para diatomitas de buena calidad.

Las principales propiedades se resumen a continuación:

- Alta porosidad.
- Muy baja densidad.
- Capacidad muy alta para absorber líquidos.
- Capacidad abrasiva suave.
- Conductividad térmica muy baja.
- Alta resistencia a la temperatura.
- Punto de fusión entre 1400° a 1750°C.
- Peso específico 2,0 (la calcinación la incrementa a 2,3).

- Área superficial 10 a 30 m²/g (la calcinación la reduce a 0,5 a 5 m²/g).
- Índice de refracción 1,40 a 1,46 (la calcinación la incrementa a 1,49).
- Dureza (Mohs) 1,5 a 2.
- Químicamente inerte.

TABLA 3
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS DIATOMITAS EN ALGUNOS YACIMIENTOS PERUANOS

Tipo de yacimiento	LACUSTRE			MARINO				
Región	Ayacucho		Arequipa	Piura			Ica	
Yacimiento	Quicapata			Bayovar			Ocucaje	
Densidad real (g/cm ³)	2,25	2,22	2,12	2,39	2,35	2,26	2,51	2,51
Densidad Global (g/cm ³)	0,41	0,36	0,40	0,45	0,52	0,38	0,53	0,59
Porosidad total (%)	81,54	83,76	80,90	81,04	77,77	83,24	78,77	76,43
Superficie específica (Hg.m ² /g)	11,20	11,30	N.D.	8,20	29,80	13,50	11,10	7,30

Fuente: L. F. Verdeja, et. al., Las diatomitas en el Perú.

4.1.6 Usos

Dependiendo de su calidad las diatomitas pueden ser empleadas en diferentes industrias, requiriendo para ello en la generalidad de los casos de un tratamiento previo por calcinación (cocción a 800-1000 °C) y activación, esto es cocción a cerca de 1000 - 1200 °C con adición de fundentes (Lorenz & Gwosdz, 2004). A las diatomitas así tratadas se les da diferentes usos, los cuales se explican a continuación (basado en publicaciones del U.S. Geological Survey, 2009) y en el grafico 1 se indica el porcentaje de cada uno de los principales usos.

La importancia que tiene esta sustancia es evidente si se considera que muchas de las bebidas que consumimos han sido purificadas y/o clarificadas utilizando ayudas filtrantes hechas de diatomita, siendo su uso como filtro su principal aplicación a nivel mundial.

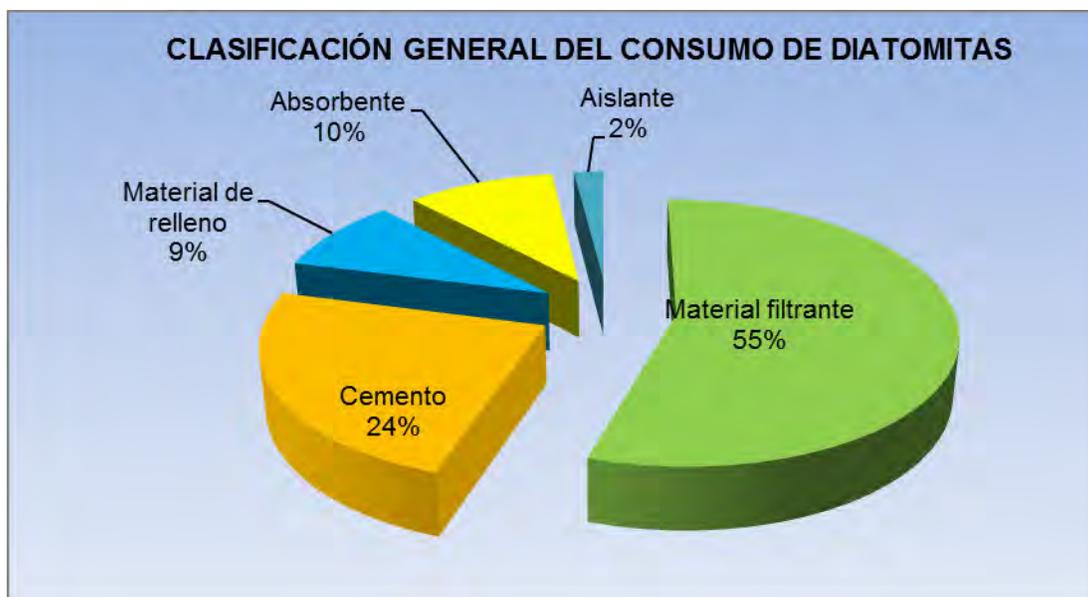


Gráfico 1: Clasificación general del consumo de diatomitas de acuerdo con sus usos

Material filtrante

La principal aplicación que tienen las diatomitas es como material filtrante en la industria de las bebidas, principalmente en la industria cervecera. El poder filtrante depende de muchos factores, siendo los más importantes la estructura microscópica de la diatomita que comprende el tipo de frústula, forma y tamaño, así como la conservación de las frústulas enteras. Otros factores son el mayor grado de pureza (diatomitas con pequeñas cantidades de arcillas no podrían ser usados como filtrantes), baja densidad, grado de finura y completa inactividad ante las reacciones químicas.

Para este tipo de usos, las empresas nacionales importan diatomita debido a que no existe una empresa que de un tratamiento adecuado a la materia prima que se explota.

Cemento

Las diatomitas también se la emplea en la industria de la construcción, como aditivos para el concreto que disminuyen el exceso de agua contenida en la mezcla, previniendo su posterior segregación e incrementando su impermeabilidad final. También se la utiliza en la preparación de estucos con yeso, cal o cemento, y sirven también para la preparación de tejas y ladrillos silíceos livianos, placas/tabiques, mayólica, losetas, baldosas, etc.

Absorbente

Se usa como agente absorbente y adsorbente (en forma sólida o pulverizada) de líquidos desinfectantes, portador de catalizadores en la industria química, portador de emanaciones radioactivas, colorantes, etc. También se emplean en la purificación del acetileno y como vehículo para almacenar sustancias anti criptogámicas destinadas a la agricultura, la absorción de ácidos, bromo y de otros productos químicos y explosivos.

Material de relleno

También es empleada como carga o relleno en la industria de la pintura, barnices, plástico, hule, etc., por ser un eficiente extendedor de pigmentos y agentes mateantes. Con su infinita variedad de formas, las diatomeas se entrelazan con la película de la pintura dándole mayor tenacidad y mejores propiedades de lijado. Se emplean como carga industrial en la fabricación de diversos productos como: caucho, jabones, neumáticos, suelas, tacones, rodillos, guantes, empaquetaduras, pastillas y comprimidos medicinales, y en la fabricación de discos para fonógrafos, papeles murales, insecticidas, fertilizantes y otras muchas aplicaciones.

Material aislante

La diatomita es empleada con este fin debido a su baja conductividad térmica, capacidad de regulación del grado de humedad y tamaño de grano. Para ser usado como material aislante del calor y del sonido se requiere que la diatomita tenga peso específico mínimo (densidad aparente entre $0,16 - 0,32 \text{ g/cm}^3$).

Se emplea como aislante térmico en forma de ladrillos y losetas hechas con diatomitas pulverizadas, mezcladas con arcillas u otros aglutinantes en las plantas de metalurgia, manufactura del vidrio, en hornos y varios equipos de cerámica, equipos generadores de gas, equipos para tratamiento térmico, instalaciones generales para frío o calor, construcción de frigoríficos.

Otras aplicaciones

Como abrasivo se emplea en la pulimentación de superficies metálicas, vidrios, etc. y en la fabricación de piedras de afilar. Como abrasivos suaves se usan en la

preparación de polvos y pastas dentífricas, en ciertas clases de jabones y productos de limpieza, y para producir fricción entre las cabezas de los fósforos y la sustancia que se coloca en las fajas de las cajas para frotarlos.

Para ser usado como material inerte la diatomita requiere un alto grado de pureza química, alto grado de inactividad, grado de finura, poder de adsorción, grado de acidez (pH) y contenido mínimo de ión ferroso.

Las diatomeas son utilizadas como bioindicadores de la calidad del agua de los ríos. Las diatomeas son unos excelentes sensores naturales de la calidad ambiental del medio. Son las más abundantes en los ecosistemas fluviales, tienen una amplia distribución geográfica y son muy sensibles a variaciones y cambios químicos del agua.

4.1.7 Especificaciones generales para su uso

Las especificaciones son numerosas y las características fisicotécnicas que deben cumplir los productos comercializados varían de acuerdo con el empleo al que se le destine.

El contenido de sílice total no es tan importante, como aquella proporción de frústulas diatomáceas que están constituidos por sílice amorfa, siendo esta denominado también como «contenido de ópalo» de la diatomita. Por regla general las diatomitas que son económicamente aprovechables se encuentran entre un 80-86%, llegando a 94% en calidades altas y bajando hasta un 58% en calidades menores de contenido de SiO₂. La diatomita que sirve como medio auxiliar de filtración, debería tener una densidad en húmedo menor de 300 g/l.

Diatomitas con impurezas como cal, dolomita, arcilla y toba no pueden procesarse económicamente y por ello sus posibilidades de explotación son muy restringidas y técnicamente poco aprovechables.

Diatomitas en bruto con cloruros (halita) son inadecuadas para todos los ámbitos aplicativos. El yeso es nocivo en la mayoría de las aplicaciones, con la excepción de abonos, su contenido en los materiales de construcción debe ser menor a 1%; si sus cantidades son más altas se presenta el peligro de la formación de eflorescencias

sulfáticas. Se muestra a continuación, algunas especificaciones generales para la evaluación de diatomitas (ver tabla 4).

TABLA 4
ESPECIFICACIONES GENERALES DE DIATOMITAS EN BRUTO Y PRODUCTOS
DIATOMÍTICOS CALCINADOS¹

	Diatomita en bruto ²	Diatomita calcinada
Composición Química (%)		
SiO ₂ (total)	> 60 - 80 (85)	>(80) - > 90
Cuarzo	< 3	< 1
Al ₂ O ₃	< 4	< 2 (-5)
Fe ₂ O ₃	~< 5	< 1,5 (~<5)
CaO	< 5	1 - 2
Álcalis	< 2	< 1,5
MnO+TiO ₂	< 1	< 1
S _(total)	< 2	-
PPR	~3 - 8	< 1
Sustancia orgánica	Baja (< 25)	-
Composición Mineralógica (%)		
Yeso	Generalmente < 1	-
Minerales arcillosos	bajo	-
Porcentaje de ópalo	> 60 - 80	
Propiedades fisicotécnicas		
Tasa de filtración (ml/min)	-	50 - 500 (700)
Densidad aparente (g/l)	< 250	-
Densidad en húmedo (g/l)	-	~ 100 - 200
pH	~ 7	~ 7 (-10)
Concentración de diatomáceas	> 60 - 80	80 - 90
Remisión TAPPI (%) ³		> 60 (90)

¹ Esencialmente según Benda (1981) y, Benda y Mattiat (1977) ² para la comparación con los productos calcinados, los valores de esta columna deben recalcularse exentos de pérdida por calcinación y materia orgánica a la suma de 100 % para cada muestra dada ³ TAPPI = Technical Association of the Pulp and Paper Industry, New York; - = generalmente no se determina.

Fuente: W. Lorenz y W. Gwosdz (2004), *Manual para la evaluación geológica técnica de recursos minerales de construcción*.

En la tabla 5 se presentan las características físico-técnicas que deben cumplir los productos comerciales de diatomitas según la gama de aplicaciones en diversas industrias norteamericanas.

TABLA 5
PROPIEDADES FISICOTECNICAS DE DIATOMITAS NORTEAMERICANAS (PRODUCTOS COMERCIALES) RECOPILOADO DE DATOS EMPRESARIALES

Propiedades fisicotécnicas	Material filtrante				Material de relleno para						Pasta para pulir	
	Preparado No calcinado	Calcinado (~750°C)	Calcinado (flux-calcined, ~ 1000°C)	Papel	Pintura	Pesticida	Fertilizantes (reductor adherencia)	Poliuretano	Caucho/goma	Pasta para pulir		
Peso a granel en seco (g/l)	112	128 - 160	144 - 320	110 - 120	120 - 130	120	130	150	140	140 - 170		
Densidad húmeda (g/l)	255	275 - 340	270 - 335	320 - 360	300 - 320	360	310	330	380	270 - 420		
Humedad (%)	-	-	-	3 - 4	0,1 - 0,5	4	3,3	0,1	0,3	0,1 - 4,1		
Partículas > 0,104 mm. (%)	1	1 - 4	5 - 50	< 0,1	±0	< 0,1	< 0,1	0,0	< 0,1	0,0 - 5,6		
Partículas > 0,043 mm. (%)	-	-	-	0,4 - 8	< 1,2	< 0,4	< 3	Trazas	< 0,7	0,1 - 19,6		
Adsorción de aceite ¹ (%)	-	-	-	180 - 210	145 - 160	180	190	160	150	120 - 190		
Color	gris	rosa	blanco	gris	blanco	gris	gris	blanco	rosa	gris/blanco		
Remisión TAPP ²	-	-	-	63 - 65 ³	88 - 89	63	59	90	60	64 - 91		
Finura según Hegman (definición al pie de la tabla)	-	-	-	-	1 - 4	-	-	5	-	3,75 - 4,50		
Densidad (g/cm ³)	2,10	2,15 - 2,25	2,30 - 2,35	2	2,3	2	2	2,3	2,2	2 - 2,3		
pH	7	7	8 - 10	6,2 - 6,6	8,7 - 9,5	6,2	7,1	9,8	6,5	6,5 - 9,2		
Resistencia eléctrica (ohm)	-	-	-	3000	7400 - 13000	3000	4000	6500	30000	3000 - 9000		
Índice de refracción	-	-	-	1,42	1,48	1,42	1,42	1,48	1,44	1,42 - 1,48		
Superficie específica BET (m ² /g)	12 - 40	2 - 5	1 - 3	20 - 30	0,7 - 3,5	20 - 30	20 - 30	0,7 - 3,5	4 - 6	0,7 - 30		
Porosidad (%)	-	-	-	65 - 85	65 - 85	65 - 85	65 - 85	65 - 85	65 - 85	65 - 85		
Permeabilidad (Darcy)	0,057 - 0,062	0,068 - 0,53	1,2 - 30	-	-	-	-	-	-	-		
Tamaño de grano (µm)	< 2,5	2,5 - 7	13,0 - 40,0 (5,5 - 13,0)	1 - 8	3 - 8	-	-	-	-	-		
Valley Iron Abrasion (mg) ⁴	-	-	-	170 - 440	495 - 850	170	410	390	300	140 - 1900		
Tasa de filtración absoluta (ml/min)	22	↔	740	-	-	-	-	-	-	-		
Tasa de filtración relativa	100	100 - 325	300 - 1000 1500 - 2500 max. 7500	-	-	-	-	-	-	-		
Adsorción de agua (%)	235	170 - 250	220 - 250	-	-	-	-	-	-	-		

¹ASTM Linseed Oil Absorbency Test ²TAPP¹ = Technical Association of the Pulp and Paper Industry, New York ³para revestimientos 85 - 88 % ⁴método del ensayo de abrasión según ASTM.

Fuente: W. Lorenz y W. Gwosdz (2004), *Manual para la evaluación geológica-técnica de recursos minerales de construcción*.

4.2 Características de los principales yacimientos

4.2.1 Yacimiento de Tambillo

Se denomina así al yacimiento que se ubica en las coordenadas 8540656N, 597770E, en el distrito de Tambillo, provincia de Huamanga, a 14 km al este de la ciudad de Ayacucho. Es accesible por carretera afirmada, siguiendo una ruta carrozable de 20 km de longitud, hasta el poblado de Tambillo, con 40 minutos de viaje en camioneta.

La topografía en la zona es abrupta, representada por valles encañonados caracterizada por tener paredes verticales y aborregadas en algunos casos, que hacen difícil el acceso a dicha zona. Dichos valles encañonados son disecciones en las penillanuras generadas por líneas de drenaje cuyo trabajo erosivo fue mayormente vertical, favorecida por la posición subhorizontal de los estratos de la Formación Ayacucho.

La geología de la zona está representada por la Formación Ayacucho (miembro inferior y superior) y depósitos aluviales cuaternarios. El miembro inferior de la Formación Ayacucho está conformado principalmente por estratos de limos y arenas de color marrón, intercalados con conglomerados de naturaleza volcánica y cenizas volcánicas de color blanco. El miembro superior de la Formación Ayacucho está conformado por limos, arenas y diatomitas. En la zona las capas de diatomitas se encuentran en los horizontes superiores, tienen un rumbo promedio de N45°E, un buzamiento de 10°NW y un sistema de fracturas de buzamientos casi verticales, con rumbo NE. Las diatomitas presentan capas que engloban nódulos y lentes de ópalo, de coloración gris verdosa. El espesor promedio de las capas de diatomita es de 1,50 m a 2,0 m. Los depósitos cuaternarios están conformados por gravas y material areno limoso. (foto 8)

En el yacimiento existen varias canteras que explotan las diatomitas para su uso como diatomita natural. La explotación la realiza a tajo abierto, en socavones y de manera artesanal, siendo el volumen de producción mensual de 180 T.M. aproximadamente. A continuación se describen las principales canteras del depósito de Tambillo.



Foto 8: Capas de diatomitas en estratos delgado a medianos, subhorizontales, sobreyaciendo a ignimbritas de la Formación Ayacucho.

Cantera San Carlos 5

Se encuentra ubicado en el yacimiento de Tambillo, en las coordenadas UTM 8540021N, 597647E. El acceso desde la ciudad de Ayacucho hasta el poblado de Tambillo, es mediante carretera afirmada, por un tramo de 20 km. La cantera se encuentra a 1 km del poblado mencionado.

En el afloramiento las diatomitas se presentan en capas gruesas y horizontales, poco fracturadas y ligeramente alteradas, con pátinas de óxidos en las fracturas. Las diatomitas alternan con capas delgadas de arenisca, su espesor total aproximado es de 3,5 m, son de color blanco con tonalidades cremosas, terrosas y deleznable hacia la parte superior, haciéndose compacta en profundidad. También se observan nódulos de ópalo verde en las capas inferiores. La figura 8, representa una sección estratigráfica realizada en la cantera.

Las capas de diatomitas se encuentran sobreyaciendo a ignimbritas grisáceas de la Formación Ayacucho y bajo una cobertura de 0,1 m de suelo arcilloso.



Foto 9: Vista panorámica de la cantera San Carlos 5.

En la actualidad la producción de diatomita en la cantera se encuentra paralizada, dejándose de explotar en el año 2008, debido a problemas con la comunidad ya que la explotación del material destruía las áreas de cultivo.

El método de explotación fue a tajo abierto (foto 10), de manera artesanal, utilizando barrenos y picos para la extracción del material. La diatomita se extraía en bloques con dimensiones de 0,10 a 0,30 m de ancho y 0,50 a 0,80 m de largo, los cuales eran apilados para el secado y su posterior comercialización (foto 11). El volumen de producción en promedio fue de 40 T.M. mensuales.

La cantera se encuentra dentro de una concesión minera que pertenece a la CIA. Minera Agregados Calcáreos S.A.



Foto 10: Bancos de diatomita terrosa en superficie, compactándose en profundidad.

UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	METROS	LITOLÓGIA	DESCRIPCIÓN
FORMACIÓN AYACUCHO	0.6		Suelo arcilloso de color marrón con fragmentos de roca volcánica y restos de plantas
	0.45		Diatomita grisácea, disgregable con manchas de óxidos, en estratos delgados
	0.75		Diatomita blanca a beige, poco compacta bajo en peso específico en estratos gruesos
	0.7		Diatomita blanca a beige, compacta con nódulos de obsidiana verde, bajo en peso específico, en estratos gruesos
	>1		Ignimbritas compuestas por material limo arenoso, fragmentos de roca volcánica

Figura 8: Sección estratigráfica Cantera San Carlos 5



Foto11: Acumulación de bloques de diatomita para su comercialización.

Cantera Geoma I

Se encuentra ubicado en el yacimiento de Tambillo, en las coordenadas UTM 8543176N, 596406E. El acceso desde la ciudad de Ayacucho es mediante carretera afirmada, siguiendo la ruta hacia el poblado de Tambobamba, por un tramo de 23 km aproximadamente.

En el afloramiento las diatomitas se presentan en estratos medianos subhorizontales, moderadamente fracturados y ligeramente alterados, con pátinas de óxidos en las fracturas. Se encuentran sobreyaciendo a ignimbritas marrón grisáceas. Tiene un espesor total aproximado de 2,9 m, diferenciando una capa de mayor pureza a 1,4 m de profundidad. La figura 9, representa una sección estratigráfica realizada en la cantera.

Las diatomitas son de color blanco con tonalidades grisáceas, se muestran terrosas y deleznales en superficie, variando a más compactas y con mayor contenido de humedad en profundidad (foto 12).

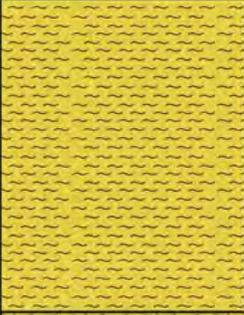
UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	METROS	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
FORMACIÓN AYACUCHO	0.1		Suelo arcilloso
	0.55		Diatomita grisácea, poco compacta en estratos delgados, muy fracturada
	0.75		Diatomita cremosa, poco compacta en estratos medios
	1.6		Diatomita blanca cremosa compacta, masiva en estratos gruesos
	> 3.0		Ignimbritas marrón grisácea compuesta por material limoarenoso

Figura 9: Sección estratigráfica cantera Geoma I



Foto 12: Estratos de diatomita subhorizontal sobreyaciendo a depósitos ignimbríticos, en la Formación Ayacucho.

La extracción de la diatomita se realiza de manera artesanal y a tajo abierto. Cabe señalar que no existe un plan de minado para la extracción de los bancos de diatomitas, siendo su explotación desordenada (foto 13). Una vez extraído el material se procede a clasificar las diatomitas, de acuerdo con su calidad, acumulando las de mejor calidad en zonas de apilamiento para el secado y posterior comercialización.

La diatomita se extrae en bloques con dimensiones de 0,10 a 0,30 m de ancho y 0,50 a 0,80 m de largo. El volumen de producción es 10 T.M. mensuales.



Foto 13: Vista panorámica de la cantera Geoma I

Cantera Zarela 1

Se encuentra ubicado en el yacimiento de Tambillo, en las coordenadas UTM 8542083N, 596239E. El acceso desde la ciudad de Ayacucho es mediante carretera afirmada, siguiendo la ruta hacia el poblado de Tambobamba, por un tramo de 23 km aproximadamente.

El depósito consiste de diatomitas de color blanco con tonalidades cremosas a grisáceas, poco compactas. Se presentan en estratos medianos de 0,4 a 0,6 m de espesor, con rumbo N75°E y buzamiento 16°SE, moderadamente fracturada y alterada con óxidos en las fracturas. Las diatomitas tienen una potencia total de 4 m y se encuentran

subyaciendo a una capa de ignimbritas de 1,5 – 5 m de espesor. En profundidad las diatomitas se encuentran con gran contenido de humedad. La figura 10, representa una sección estratigráfica realizada en la cantera.



Foto 14: Vista panorámica de la cantera Zarela 1. Se aprecia el apilamiento de los bloques de diatomita para su secado.

Para la extracción de la diatomita, el método de explotación es subterráneo (foto 15) debido a la sobrecarga de material ignimbrítico de 5 m de espesor que se encuentran sobre los estratos de diatomitas. Se trabaja de manera artesanal, utilizando únicamente barrenos y lampas para la extracción de la diatomita y carretillas para el traslado del interior de la labor al punto de acopio. Debido a que en profundidad las diatomitas se encuentran con gran contenido de humedad, es necesario el secado por los rayos solares en superficie para su comercialización.

El volumen de producción en promedio es de 40 TM mensuales. Al igual que en el resto de canteras de Tambillo, la diatomita se extrae en bloques de dimensiones diversas entre 0,10 a 0,30 m de ancho y 0,50 a 0,80 m de largo.

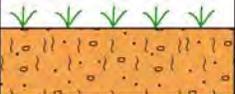
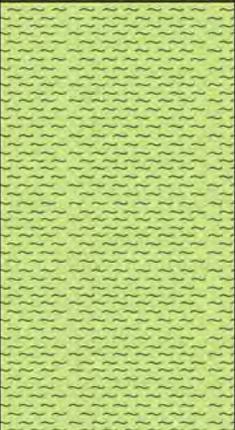
UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	METROS	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
FORMACIÓN AYACUCHO	0.3		Suelo residual con cobertura vegetal
	1.5		Ignimbritas grisáceas compuestas por material limoarenoso
	4.0		Diatomita blanca, crema grisácea , con presencia de óxidos entre las fracturas. El peso específico esta por encima del promedio para las diatomitas. Se presenta en estratos que varían entre 0.4 a 0.6 m

Figura 10: Sección estratigráfica cantera Zarela I



Foto 15: Explotación de diatomitas en socavones- cantera Zarela 1.

Cantera Compañía Minera Ayacucho

Se encuentra ubicado en el yacimiento de Tambillo, en las coordenadas UTM 8540569N, 594269E. El acceso desde la ciudad de Ayacucho es mediante carretera afirmada, siguiendo la ruta hacia el poblado de Condoray, por un tramo de 18 km aproximadamente.

El depósito consiste de diatomitas de color blanco con tonalidades cremosas a grisáceas, compactas. Se presentan en estratos gruesos (1,2 – 1,8 m), con rumbo N55°E y buzamiento 6°NW, poco fracturada y ligeramente alterada, con óxidos en las fracturas. Las capas de diatomitas se encuentran intercaladas con capas de ignimbritas y estas a su vez se presentan subyaciendo a una capa de ignimbritas de 1,5 m de espesor. En profundidad las diatomitas se encuentran con gran contenido de humedad. La figura 11, representa una sección estratigráfica realizada en la cantera.

La extracción de la diatomita, es artesanalmente en socavones, debido a la sobrecarga de material ignimbrítico, que se encuentran sobre los estratos de diatomitas. Debido a que en profundidad las diatomitas se encuentran con gran contenido de humedad, es necesario el secado en superficie para su comercialización (foto 16 y 17).

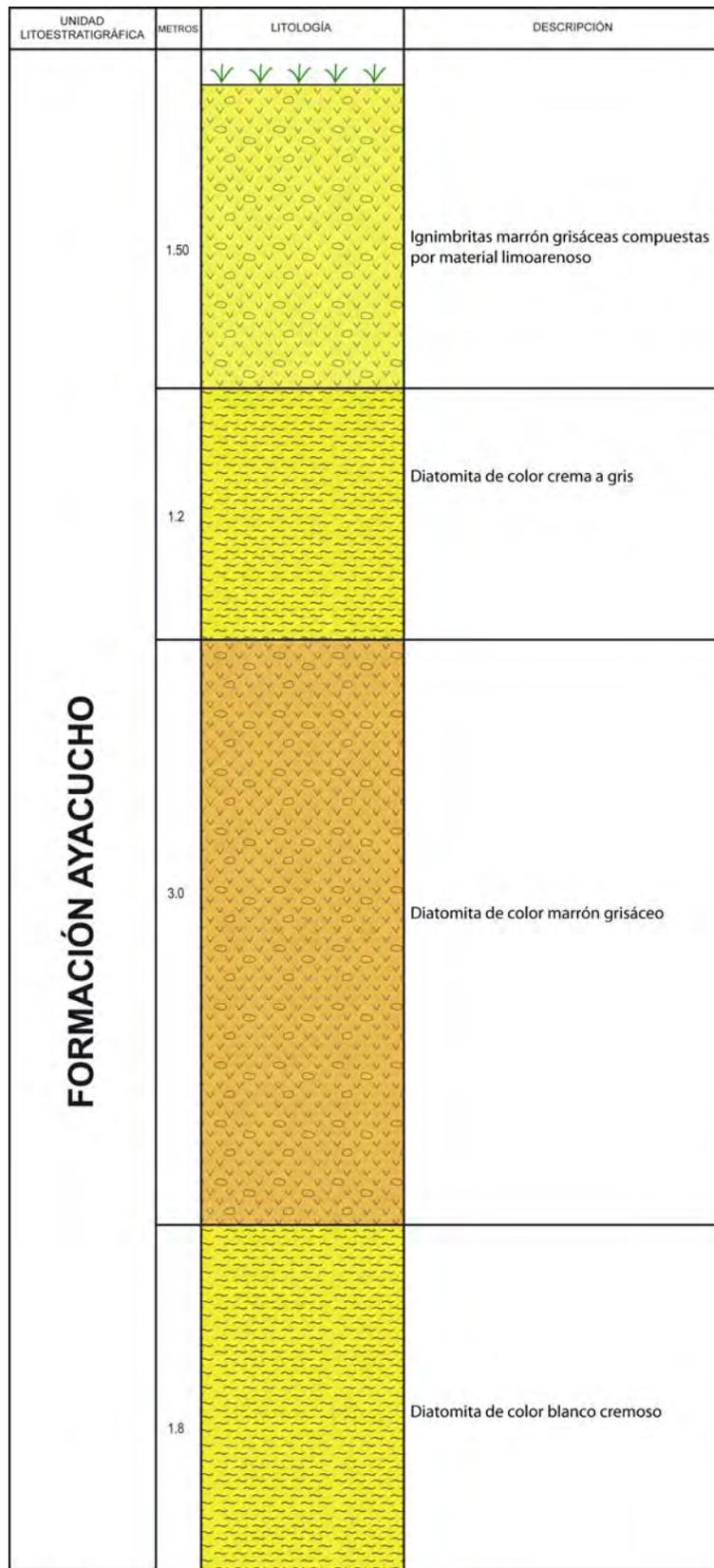


Figura 11: Sección estratigráfica cantera Compañía Minera Ayacucho



Foto 16: Extracción de la diatomita en labores subterráneas.



Foto 17: Apilamiento de diatomitas para su secado para su posterior comercialización

El volumen de producción en promedio es de 10 T.M. mensuales. Al igual que en el resto de canteras, la diatomita se extrae en bloques de dimensiones diversas entre 0,10 a 0,30 m de ancho y 0,50 a 0,80 m de largo.

4.2.2 Yacimiento de Moya

Se denomina así al yacimiento de diatomita que se ubica en el distrito de La Quinua, provincia de Huamanga. Se encuentra a 11 km al noreste de la ciudad de Ayacucho. Es accesible por carretera asfaltada (30 km) y afirmada (8 km), siguiendo la ruta desde la ciudad de Ayacucho hacia La Quinua.

La topografía general de la zona, consiste de penillanuras de suave pendiente (en promedio 15°), que en algunas partes han sido disectadas por la acción erosiva del drenaje fluvial que predomina en la zona.

La diatomita se presenta en estratos subhorizontales, interestratificadas con material limoarenoso. Los estratos de diatomitas presentan espesores variables entre 0,1 y 0,5 m, con un rumbo promedio $N30^\circ E$ y buzamiento $10^\circ SW$, llegando en algunas zonas hasta $4^\circ NW$. En general la diatomita presenta una coloración grisácea, textura terrosa y peso específico por encima de lo normal para diatomitas, evidenciando un mayor grado de contaminación en este yacimiento (foto 18 y 19).



Foto 18: Capas de diatomita sobre ignimbritas en la Formación Ayacucho. Se evidencia en la topografía la fuerte diferencia de resistencias de ambos tipos de rocas.



Foto 19: Depósitos de diatomitas interestratificadas con material ignimbrítico.

La diatomita hacia la parte superior del afloramiento se presenta de color grisáceo, mezclada con limos y arcillas.



Foto 20: Diatomitas interestratificadas con material ignimbrítico.

4.2.3 Yacimiento de Quicapata

El yacimiento se ubica a 3 km al sur de la ciudad de Ayacucho, en los alrededores de la hacienda Quicapata, en el distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga. Las coordenadas de un punto del yacimiento son 8542588N, 583119E y está a una altura de 2900 m.s.n.m.

La zona está conformada por sedimentos lacustres que se intercalan con material piroclásticos y rocas volcánicas como tobas y brechas dacítico-basálticas. Dichas rocas pertenecen a la Formación Ayacucho, que presenta facies sedimentarias con intercalaciones de episodios volcánicos caracterizándose por presentar una variación lateral de espesor y cambio de coloración de la roca en un mismo nivel. El espesor promedio de la formación es aproximadamente de 50 m.

El yacimiento se extiende desde la parte central del sinclinal de Ayacucho hacia el flanco occidental del mismo, encontrándose los mayores afloramientos en el flanco occidental del sinclinal, con dirección N-S. La diatomita aflora en un área aproximada de 0,6 km² y el buzamiento de las capas se presenta desde subhorizontales en el centro del depósito a 13°NE en los flancos.

Dentro de la Formación Ayacucho existen 3 capas de diatomita cuyos espesores varían entre 0,50 a 0,80 y 3,70 m, siendo el de mayor espesor el que se encuentra en la parte superior de la formación. Dicha capa tiene una cobertura de material limoarcilloso que varía de 0,5 a 3 m (figura 12).

Durante años el yacimiento de Quicapata fue explotado intensamente, sin embargo con el transcurrir del tiempo, la explotación del yacimiento disminuyó, en parte por la reducción de las diatomitas de calidad y en parte por el crecimiento urbano de la ciudad de Ayacucho, que comenzó a expandirse, extendiéndose hasta abarcar áreas que incluían al yacimiento. En la actualidad la explotación se ha reducido a una cantera (foto 21 y 22).

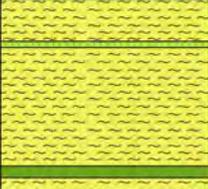
UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	METROS	LITOLÓGIA	DESCRIPCIÓN
FORMACIÓN AYACUCHO	2.40		Diatomita blanca con manchas ferruginosas superficiales
	0.17		Arenisca de matriz arcillosa, sílice amorfa de color gris verdosa
	0.90		Diatomita blanca amarillenta con manchas ferruginosas, nódulos de sílice amorfa y delgados niveles de arenisca feldespática
	0.50		Arenisca feldespática poco consolidada de grano medio a fino de color marrón oscuro

Figura 12: Sección estratigráfica yacimiento de Quicapata



Foto 21: Cantera de diatomita Zeus 7 N° 5



Foto 22: Capas de diatomita blanca intercaladas con delgados niveles de ignimbritas grisáceas (espesor total de 0,9 m)

4.3 Génesis de los depósitos de diatomitas de la cuenca Ayacucho

Las diatomitas de la cuenca Ayacucho, se forman por acumulación de las frústulas de las diatomeas en un ambiente poco profundo y protegido de aportes terrígenos, vinculado al vulcanismo explosivo del Terciario. La actividad volcánica, y las rocas volcánicas mismas, constituyen los aportes de la sílice, imprescindible para la proliferación de diatomeas. (Taliaferro, 1993) establece una relación entre el auge de las diatomeas y los periodos de abundante actividad de vulcanismo ácido.

La liberación de la sílice desde las ignimbritas y otras rocas volcánicas ácidas asociadas se explica por el fuerte incremento de su solubilidad en medios alcalinos, los mismos que son frecuentes en ambientes lacustrinos (Boggs, 1992; Tucker, 2003).

Las capas de diatomitas intercaladas con los sedimentos clásticos implican ciclos de sedimentación con cambios climáticos en los que alternan aguas turbias y aguas claras con presencia abundante de sílice.

CAPÍTULO 5

INVESTIGACIONES DE LABORATORIO

Para los diferentes usos que se le da a las diatomitas es necesario realizar una serie de análisis y estudios relacionados a las propiedades físicas y químicas, las mismas que se resumen en la tabla 6.

TABLA 6
TIPOS DE ENSAYOS PARA DIATOMITAS DE ACUERDO A SUS APLICACIONES

TIPO DE ENSAYOS	Vidrio	Refractario	Loza y porcelana	Filtro	Correctivo	Cemento	Carga	Árido ligero	Arenas de moldeo	Aislante	Aditivo	Abrasivo
Absorción de agua				7								
Absorción de aceite				6								
Análisis granulométrico	2		3						2			
Análisis de mezclas vitrificadas	3											
Análisis mineralógico			2			2						4
Análisis morfológico										5		5
Análisis químico	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	3
Análisis térmico diferencial		2										
Compacidad												6
Conductividad térmica									9	2		
Desgaste por abrasión												2
Dureza				4			4					1
Fluidez									5			
Dilatometría		4										
pH			4	5			5				2	
Plasticidad		3	5									
Permeabilidad									6			
Peso específico aparente				3			3	2	4	4		
Peso específico real				2			2	1		3		
Porosidad								3	7			
Resistencia a la compresión								5	3			
Resistencia a la flexión			6									
Temperatura de fusión									8			
Tenacidad								4				7

Los números indican el orden de importancia del tipo de estudio por aplicación (1 = mayor importancia; en blanco los estudios que no se requieren).

Fuente: Revista española de Geología y Minería N° 46 - Diatomitas en España por Domingo Pliego D. y Francisco Babiano G.

Para la caracterización de las diatomitas de la zona de estudio se utilizaron muestras representativas tomadas de los principales yacimientos, realizando para esto las siguientes investigaciones:

- Estudio micropaleontológico
Para identificar los taxones presentes y determinar las características predominantes como son la forma, tamaño y porcentaje de frústulas enteras.
- Análisis mineralógico:
Para determinar la composición mineralógica de la muestra, mediante la difracción de rayos X.
- Análisis químico:
Para determinar mediante el método de fluorescencia de rayos X el porcentaje de sílice y las concentraciones de otras impurezas como óxidos y elementos traza, que se encuentren presentes en la muestra.
- Análisis físico:
Para la caracterización física de las diatomitas se determina
 - Gravedad específica
 - Densidad aparente y húmeda
 - Porosidad
 - Absorción
 - Coeficiente de permeabilidad

Otros análisis y estudios importantes para evaluar aplicaciones y que no se realizaron en el marco de la presente tesis son:

- Análisis granulométrico:
Para determinar la distribución granulométrica mediante el sistema de medidas de los tamices en la malla de Tyler.
- Determinación del grado de blancura.
- Determinación del poder filtrante.

5.1 Estudios micropaleontológicos

Con la finalidad de establecer los tipos de diatomeas presentes en los yacimientos se realizaron estudios micropaleontológicos para determinar el taxón y especies por las formas y ornamentación de sus frústulas.

Para la realización del estudio se utilizó un microscopio petrográfico Olympus BX51 que opera con el sistema óptico de corrección a infinito UIS (Universal Infinity System) y con el contraste de interferencia diferencial DIC (Nomarski).

La preparación de las muestras para este estudio consistió en lo siguiente:

- Se toma 2 gramos de la muestra y se coloca en un tubo de ensayo.
- Se sumerge la muestra en agua destilada y se deja reposar hasta que el sedimento asiente (5 minutos aproximadamente).
- Con una pipeta se extrae una muestra del líquido y se coloca sobre una lámina de vidrio.
- Finalmente se deja secar y se recubre con bálsamo de Canadá.

Según su morfología y estructura de la frústula las diatomeas comprenden tres grandes clases (tabla 7 y fotos 23, 24 y 25):

- Orden Centrales (Coscinodiscophyceae).- Se caracterizan porque la estructura de la valva está dispuesta en referencia a un punto central o dos o más puntos de la valva, de manera que aparecen valvas biangulares a poligonales. Las frústulas de simetría radial llevan a menudo patrones ornamentales; algunos tienen espinas en sus valvas, que pueden aumentar la superficie de la diatomea, favoreciendo la flotación. A diferencia de las pennadas, las diatomeas céntricas no tienen rafe y son fundamentalmente marinas.
- Orden Pennales sin Rafe (Fragilariophyceae).- Presentan simetría bilateral y la estructura de la valva está dispuesta en referencia a una línea central.
- Orden Pennales con Rafe (Bacillariophyceae).- Presentan simetría bilateral y generalmente son dulceacuícolas.

TABLA 7
CLASIFICACIÓN DE DIATOMEAS

División	Clase	Subclase	Orden	Familia	Género		
Bacillariophyta	Coccinodiscophyceae (diatomeas céntricas)	Thalassiosirophycidae	Thalassiosirales	Thalassiosiraceae			
				Skeletonemataceae			
				Stephanodiscaceae	Cyclotella		
				Lauderiaceae			
		Coccinodiscophycidae	Chrysanthemodiscales	Chrysanthemodiscales	Chrysanthemodiscaceae		
					Melosirales	Melosiraceae	Melosira
						Sthephanopyxidaceae	
			Endictyceae				
			Hyalodiscaceae				
			Paraliales	Paraliaceae			
			Aulacoseirales	Aulacoseiraceae			
			Orthoseirales	Orthoseiraceae			
			Coccinodiscales	Coccinodiscaceae			
				Rocellaceae			
				Aulacodiscaceae			
				Gossleriellaceae			
				Hemidiscaceae			
				Heliopeltaceae			
			Ethmodiscales	Ethmodiscaceae			
			Stictocyclales	Stictocyclaceae			
			Asterolamprales	Asterolampraceae			
			Arachnoidiscales	Arachnoidiscaceae			
			Stictodiscales	Stictodiscaceae			
		Biddulphiophycidae	Triceratiales	Triceratiaceae	Triceratiaceae		
					Plagiogrammaceae		
			Biddulphiiales	Biddulphiaceae			
			Hemiaulales	Hemiaulaceae			
				Bellerocheaceae			
		Streptothecaceae					
		Anaulales	Anaulaceae				
		Lithodesmiophycidae	Lithodesmiales	Lithodesmiaceae			
		Corethrophyidae	Corethrales	Corethraceae			
		Cymatosirophycidae	Cymatosirales	Cymatosiraceae			
				Rutilariaceae			
		Rhyzosoleniophycidae	Rhyzosoleniales	Rhyzosoleniaceae			
				Pyxillaceae			
		Chaetocerotophycidae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae			
				Acanthocerataceae			
				Attheyaceae			
		Leptocylindrales	Leptocylindraceae				
		Fragilariophyceae (pennadas sin rafe)	Fragilariophycidae	Fragilariales	Fragilariaceae	Fragilaria, Diatoma	
				Tabellariales	Tabellariaceae		
				Licmophorales	Licmophoraceae		
				Rhaphoneidales	Rhaphoneidaceae		

				Psammodisceaceae	
			Ardissoneales	Ardissoneaceae	
			Toxariales	Toxariaceae	
			Thalassionematales	Thalassionemataceae	
			Rhabdonematales	Rhabdonemataceae	
			Striatellales	Striatellaceae	
			Cyclophorales	Cyclophoraceae	
				Entopylaceae	
			Climacospheniales	Climacospheniaceae	
	Protoraphidales	Protoraphidaceae			
	Bacillariophyceae (pennadas con rafe)	Eunotiophycidae	Eunotiales	Eunotiaceae	
				Peroniaceae	
		Bacillariophycidae	Lyrellales	Lyrellaceae	
			Mastogloiales	Mastogloiaceae	
			Dictyoneidales	Dictyoneidaceae	
			Cymbellales	Rhoicospheniaceae	
				Anomoeoneidaceae	
				Cymbellaceae	Cymbella
				Gomphonemataceae	Gomphonema
			Achnanthes	Achnanthaceae	
				Cocconeidaceae	Cocconeis
				Achnanthidiaceae	
			Naviculales	Berkeleyaceae	
				Cavinulaceae	
				Cosmioneidaceae	
				Scolioneidaceae	
				Diadesmidaceae	
				Amphipleuraceae	
				Brachysiraceae	
				Neidiaceae	
				Scoliotropidaceae	
				Sellaphoraceae	
				Pinnuariaceae	
Phaeodactylaceae					
Diploneidaceae					
Naviculaceae					
Pleurosigmataceae					
Plagiotropidaceae					
Stauroneidaceae					
Proschkiniaceae					
Thalassiophysales		Catenulaceae			
		Thalassiophysaceae			
Bacillariales		Bacillariaceae			
Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	Epithemia, Rhopalodia			
Surirellales	Entomoneidaceae				
	Auriculaceae				
	Surirellaceae				

Fuente: Round, E., Crawford, M., Mann, G. (2007) - The diatoms: biology and morphology of the genera.

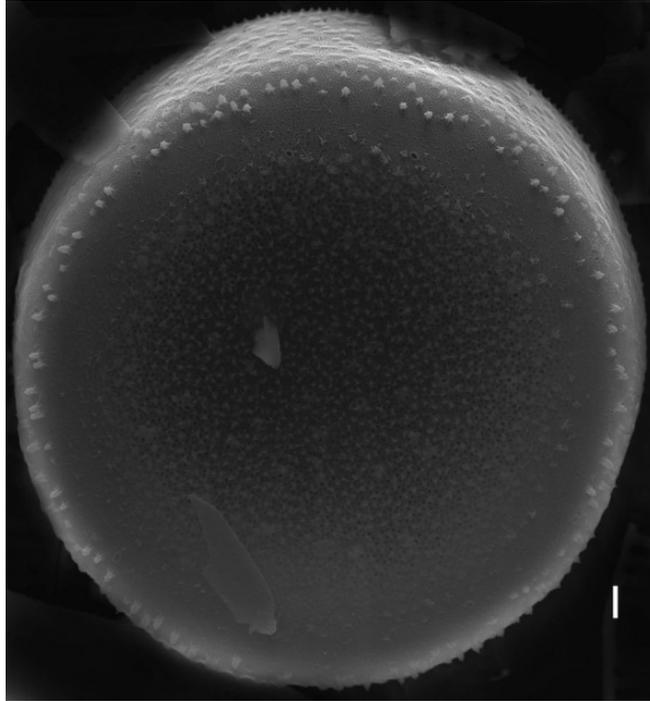


Foto 23: Vista valva externa (*Melosira varians* - Coscinodiscophyceae)
(Foto: Marina Potapova)

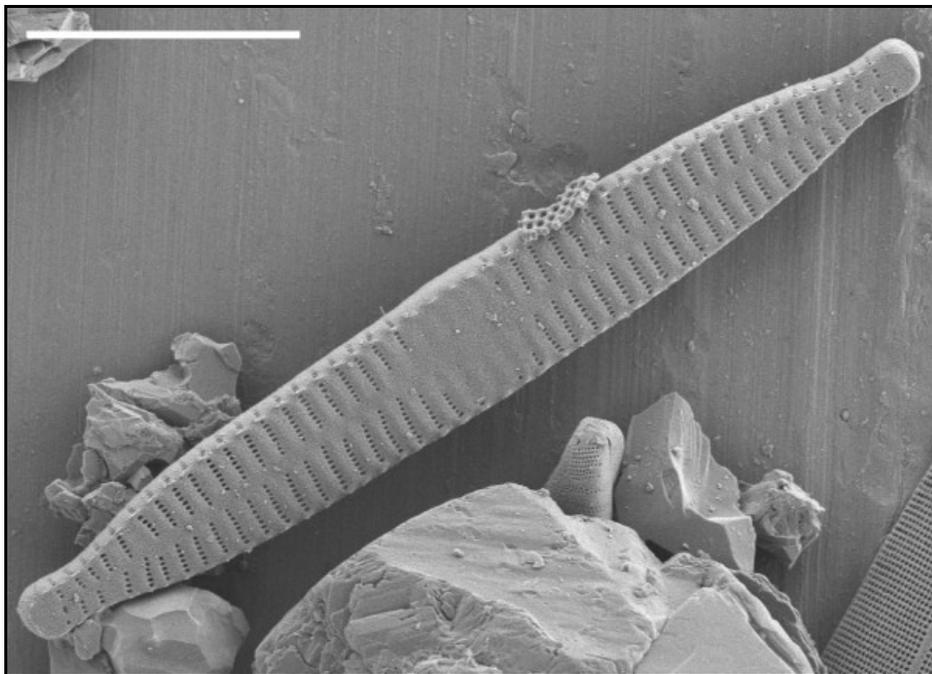


Foto 24: Vista valva externa (*Fragilaria vaucheriae* - Fragilariophyceae)
(Foto: Eduardo Morales)

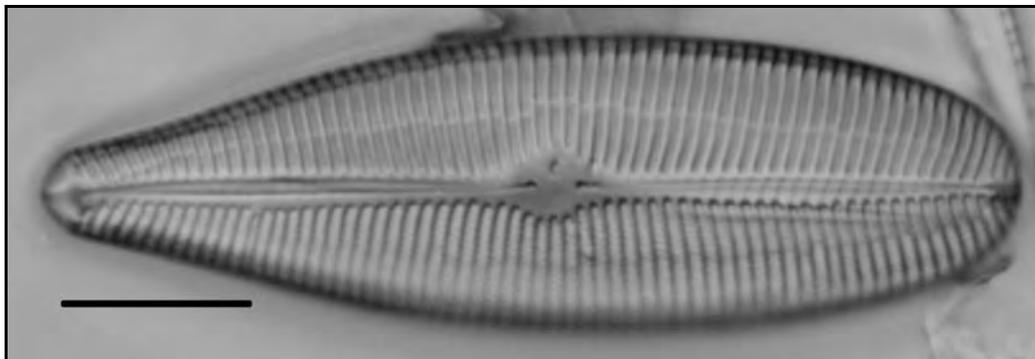


Foto 25: Vista valva externa (Gomphoneis - Bacillariophyceae)

(Foto: Pat Kocielek)

5.1.1 Yacimiento de Tambillo

Se usaron 6 muestras representativas para la caracterización micropaleontológica de las diatomitas de Tambillo. A continuación se resume los principales taxones y las características microscópicas más importantes de las frústulas de diatomeas.

Las diatomeas del yacimiento de Tambillo, se encuentran dominadas por la presencia de los géneros: Rhopalodia, Fragilaria, Gomphonema. Ephitemia, Nitzschia y Ccoconeis (diatomeas pennadas con simetría bilateral), Melosira (diatomeas céntricas).

TABLA 8

ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU FORMA

Muestra	Orden centrales (simetría radial; formas circulares, biangulares, triangulares o poligonales)	Total de frústulas (%)	Orden pennales(simetría bilateral y formas alargadas)	Total de frústulas (%)
Mte-002-09	Melosira sp	70%	Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O. Muller	10%
			Rhopalodia gibba (Ehrenberg) O. Muller	17%
			Ephitemia zebra (Ehrenberg) kutzing	3%
Mte-003-09	Melosira sp	70%	Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O. Muller	15%
			Rhopalodia sp.	13%
			Eunotia sp.	2%
Mte-004-09	Melosira sp	60%	Cocconeis lineata Ehrenberg	2%
			Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O.	20%

			Muller	
			Rhopalodia sp.	18%
Mte-008-10	-	-	Fragilaria sp.	80%
			Gomphonema sp.	20%
Mte-010-10	Melosira sp	25%	Fragilaria sp.	75%
Mte-012-10	Melosira sp	15%	Fragilaria sp.	71%
			Nitzschia	14%

En general el tamaño de las frústulas de los especímenes encontrados en el yacimiento de Tambillo están entre los 50 - 100 μ . En la siguiente tabla se muestra un resumen del porcentaje de frústulas respecto al tamaño de las mismas.

TABLA 9
ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU TAMAÑO
(PORCENTAJE %)

Tamaño (micras)	Mte-002-09	Mte-003-09	Mte-004-09	Mte-008-10	Mte-010-10	Mte-012-10
100 - 200 μ	-	3 (esponjas)	10 (esponjas)	3	3 (esponjas)	2 (esponjas)
50 - 100 μ	65	60	65	62	67	78
< 50 μ	35	37	25	35	30	20

Las diatomitas de ambientes lacustres suelen conservarse en condiciones óptimas, a diferencia de las de origen marino, que raramente tienen una preservación tan buena como los registros epicontinentales. Sin embargo del estudio micropaleontológico se observa que los sedimentos de diatomitas se encuentran poco preservados, encontrándose las frústulas enteras hasta en un 40%.

TABLA 10
ABUNDANCIA RELATIVA DE FRÚSTULAS ENTERAS VS. FRÚSTULAS
FRACCIONADAS (%)

Muestra	Mte-002-09	Mte-003-09	Mte-004-09	Mte-008-10	Mte-010-10	Mte-012-10
Total de frústulas enteras	40%	30%	35%	40%	30%	40%
Total de frústulas fraccionadas	60%	70%	65%	60%	70%	60%

Del estudio micropaleontológico de las diatomitas de Tambillo se puede concluir que las especies determinadas son en su mayoría de formas alargadas, características de ambientes lagunares, así también, se presentan en menor cantidad las de formas céntricas que nos indican la influencia marina. El tamaño predominante de frústulas está entre los 50 - 100µm y el porcentaje de frústulas enteras en promedio de un 35%.

5.1.2 Yacimiento de Moya

Las diatomeas del yacimiento de Moya, se encuentran dominadas por la presencia de los géneros: Rhopalodia, Fragilaria, Gomphonema. (diatomeas pennadas con simetría bilateral); Melosira (diatomeas céntricas).

TABLA 11

ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU FORMA

Muestra	Orden centrales (simetría radial; formas circulares, biangulares, triangulares o poligonales)	Total de frústulas (%)	Orden pennales(simetría bilateral y formas alargadas)	Total de frústulas (%)
Mte-006-09	Melosira sp.	55%	Gomphonema sp.	20%
			Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O. Muller	15%
			Fragilaria sp.	10%

TABLA 12

ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU TAMAÑO

Muestra	Tamaño (micras)	Porcentaje (%)
Mte-006-09	50 - 100 µ	3 (espículas de esponjas)
	20 - 50 µ	77
	< 20 µ	20

TABLA 13

ABUNDANCIA RELATIVA DE FRÚSTULAS ENTERAS VS. FRÚSTULAS FRACCIONADAS (%)

Mte-006-09	Total de frústulas enteras	30%
	Total de frústulas fraccionadas	70%

Del estudio micropaleontológico de las diatomitas de Moya, se puede concluir que las especies determinadas son características de ambientes lagunares con influencia marina, la forma de las frústulas son predominantemente fragmentos elongados, siendo el tamaño predominante de frústulas entre los 20 - 50 μ m y el porcentaje de frústulas enteras en promedio de un 30%.

5.1.3 Yacimiento de Quicapata

Según Josefa Ramirez, (1978), las diatomeas del yacimiento de Quicapata, se encuentran dominadas por la presencia de los géneros: *Cyclotella* sp., *Cyclotella stelligera*, *Melosira echinus*, *Melosira patagónica*, *Melosira perpusilla* (diatomeas céntricas), *Fragilaria* sp., *Cocconeis* sp., *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Denticula* sp. *Ephitemia zebra*, *Rhopalodia gibba* (diatomeas pennadas con simetría bilateral).

Las especies determinadas son características de ambientes relativamente someros, de agua dulce. De ambientes con pH ligeramente alcalinas.

La forma de las frústulas son predominantemente alargados. El porcentaje promedio de frústulas enteras es del 90%.

Se elaboró un gráfico que ilustra la frecuencia relativa de los principales géneros de diatomeas de la cuenca Ayacucho, (grafico 2).

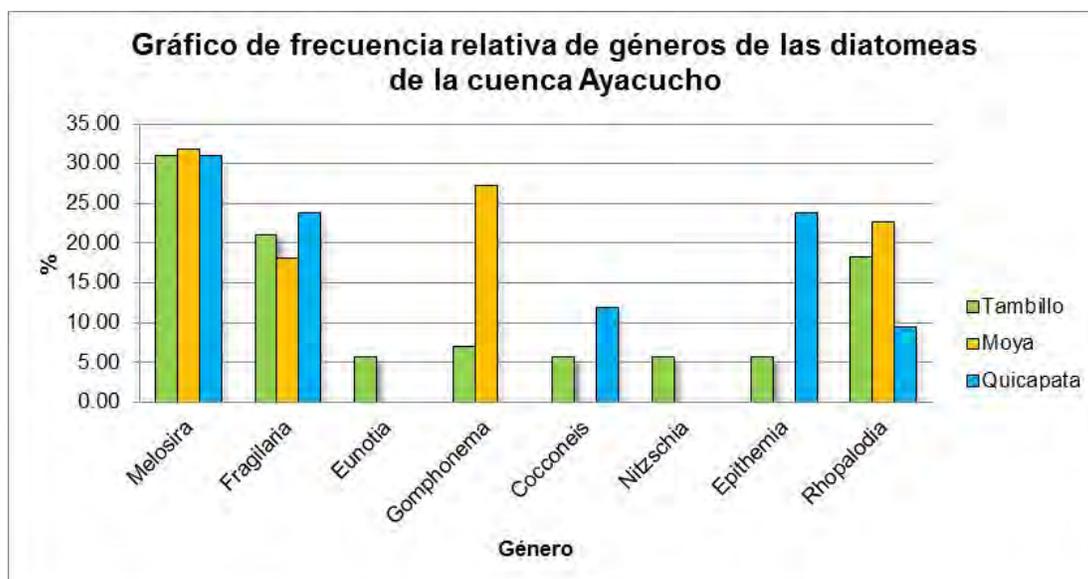


Gráfico 2: frecuencia relativa de géneros de las diatomeas de la cuenca Ayacucho

5.2 Estudio geoquímico

El análisis químico de las muestras han sido realizados mediante el método TCP-IP-AES (análisis multielemental por fusión de metaborato de litio).

5.2.1 Yacimiento de Tambillo

A 5 muestras representativas del yacimiento de Tambillo se le realizaron análisis químicos obteniendo como resultado los siguientes datos:

TABLA 14

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS DIATOMITAS DEL YACIMIENTO DE TAMBILLO

Elemento	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	LOI
Unidad	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Mte-001-09	3,55	0,55	0,01	1,25	0,44	0,43	0,03	0,28	0,05	85,55	0,17	7,70
Mte-008-10	2,85	0,65	0,01	1,22	0,49	0,48	0,01	0,29	0,03	85,69	0,14	8,15
Mte-011-10	2,03	0,40	0,01	0,65	0,29	0,26	0	0,21	0,01	88,49	0,10	7,56
Mte-012-10	2,53	0,53	0,01	1,80	0,46	0,69	0	0,23	0,02	85,33	0,14	8,27
Mte-013-10	2,61	1,02	0,01	1,14	0,28	0,85	0	0,23	0,01	84,13	0,13	9,59
Promedio	2,71	0,64	0,01	1,22	0,39	0,55	0,01	0,25	0,02	85,78	0,14	8,29

Resultados de análisis químicos normalizados

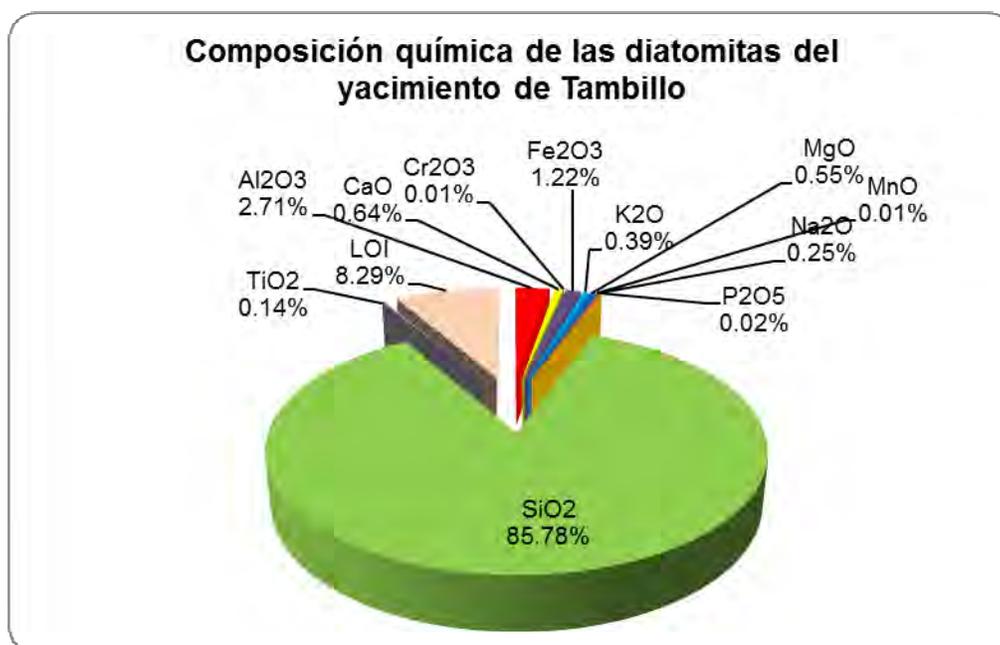


Gráfico 3: Composición química de las diatomitas de Tambillo

De acuerdo a los resultados de los análisis químicos, se observa que estas diatomitas poseen un alto contenido en SiO₂ en promedio mayor al 85%, mientras que las impurezas representadas por la alúmina (Al₂O₃), óxidos (Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O y Na₂O) y elementos traza se detallan a continuación.

El valor de la alúmina (Al₂O₃) está por debajo del 3%, debido al bajo contenido de arcillas de la muestras. Así también el contenido de óxidos (Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O y K₂O) presentan porcentajes bajos (< 1%) a excepción del óxido de hierro que sobrepasa al 1%, pero es menor del 1,5%. Cabe mencionar que de los elementos traza el más abundante es el bario que muestra valores entre los 100 y 250 ppm.

5.2.2 Yacimiento de Moya

A 2 muestras representativas del yacimiento de Moya se le realizaron análisis químicos obteniendo como resultado los siguientes datos:

TABLA 15
ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS DIATOMITAS DEL YACIMIENTO DE MOYA

Elemento	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	LOI
Unidad	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Mte-006-09	7,11	1,63	0,01	2,10	1,47	0,83	0,03	0,89	0,08	75,38	0,33	10,12
Mte-007-09	11,09	1,25	0,01	1,47	4,94	0,84	0,06	1,60	0,07	70,34	0,25	8,07
Promedio	9,11	1,44	0,01	1,79	3,21	0,84	0,05	1,25	0,08	72,86	0,29	9,10

Resultados de análisis químicos normalizados

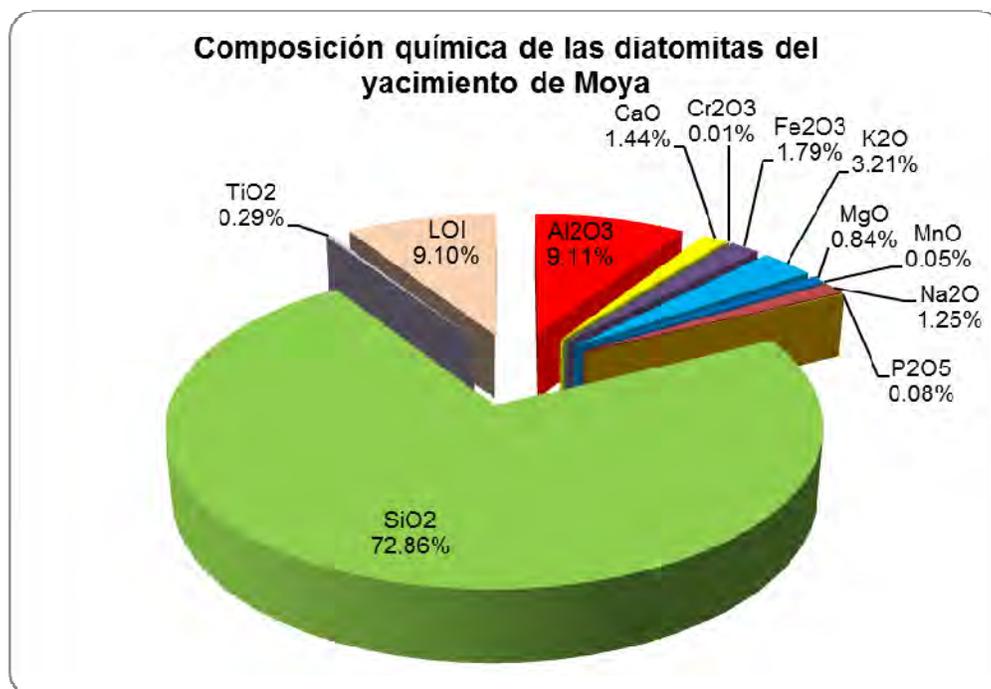


Gráfico 4: Composición química de las diatomitas de Moya

De acuerdo a los resultados de los análisis químicos, se observa que estas diatomitas poseen un alto contenido en SiO₂ en promedio mayor al 70%, mientras que las impurezas representadas por la alumina (Al₂O₃), óxidos (Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O y Na₂O) y elementos traza se detallan a continuación.

El valor de la alumina (Al₂O₃) es alto, sobrepasando el 9% en promedio, esto debido al mayor contenido de arcillas en el yacimiento. Así también el contenido de óxidos (Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O y K₂O) varían entre el 1 y 2%, con excepción del óxido de potasio cuyo valor sobrepasa el 3%. Entre los elementos traza el más abundante es el bario que muestra valores entre los 300 y 400 ppm

5.2.3 Yacimiento de Quicapata

Los datos fueron obtenidos del estudio que realizó Irma Giselle Naranjo Landerer, "Evaluación técnica y económica del yacimiento de diatomitas de Quicapata (Ayacucho)", en el año 1994.

TABLA 16

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS DIATOMITAS DEL YACIMIENTO DE QUICAPATA

Elemento	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	LOI
Unidad	%	%	%	%	%	%	%	%
M-1	1,51	1,11	1,11	0,30	0,40	0,40	88,82	6,36
M-2	3,16	1,53	1,02	0,51	0,61	0,31	88,64	4,23
M-3	2,78	0,99	0,89	0,60	0,60	0,20	90,18	3,77
M-4	2,71	0,80	0,90	0,60	0,50	0,20	90,73	3,55
M-5	2,70	1,40	0,90	0,40	0,50	0,10	89,54	4,45
M-6	2,85	1,02	1,02	0,61	0,61	0,31	89,90	3,68
M-7	2,10	1,20	1,00	0,40	0,60	0,30	90,65	3,75
M-8	2,96	1,33	1,02	0,41	0,51	0,20	89,44	4,13
M-9	2,75	1,42	1,02	0,61	0,51	0,31	89,83	3,56
M-10	2,61	0,90	0,80	0,40	0,50	0,20	90,59	3,98
Promedio	2,61	1,17	0,97	0,48	0,53	0,25	89,84	4,15

Resultados de análisis químicos normalizados

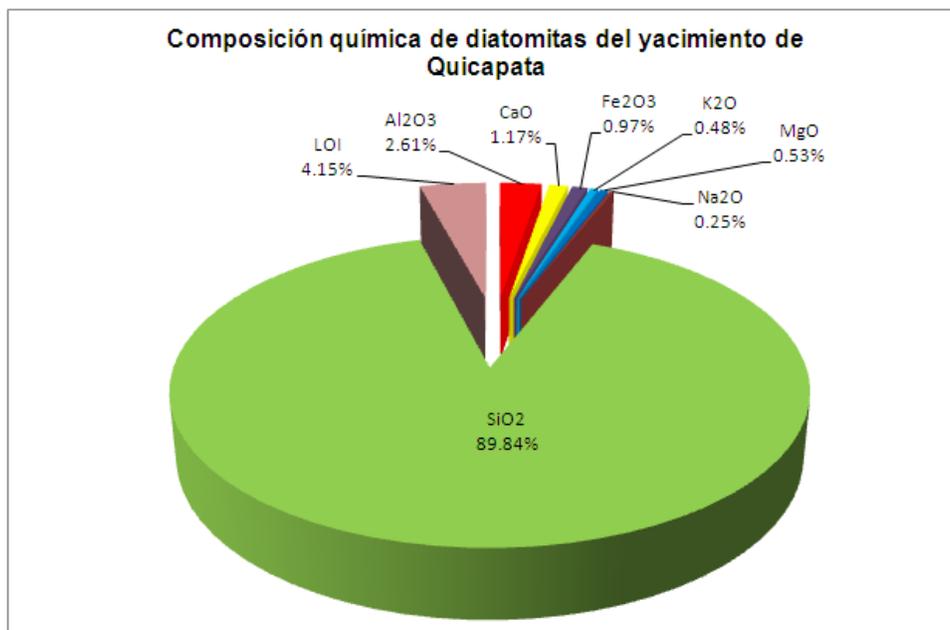


Gráfico 5: Composición química de las diatomitas de Quicapata

En los resultados de los análisis químicos, se observa que estas diatomitas poseen un alto contenido en SiO₂ en promedio mayor al 89%, mientras que las impurezas

representadas por la alúmina (Al_2O_3), óxidos (Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O y Na_2O) y elementos traza se detallan a continuación.

El valor de la alúmina (Al_2O_3) está por debajo del 3%, debido al bajo contenido de arcillas de la muestras. Así también el contenido de óxidos (Fe_2O_3 , MgO , Na_2O y K_2O) presentan porcentajes bajos (< 1%) a excepción del óxido de calcio (CaO) que sobrepasa al 1%, pero es menor del 1,5%.

Con información de la composición química de los yacimientos de la cuenca Ayacucho se realizó una comparación, con la finalidad de determinar que yacimiento ofrece mejor calidad (grafico 6).

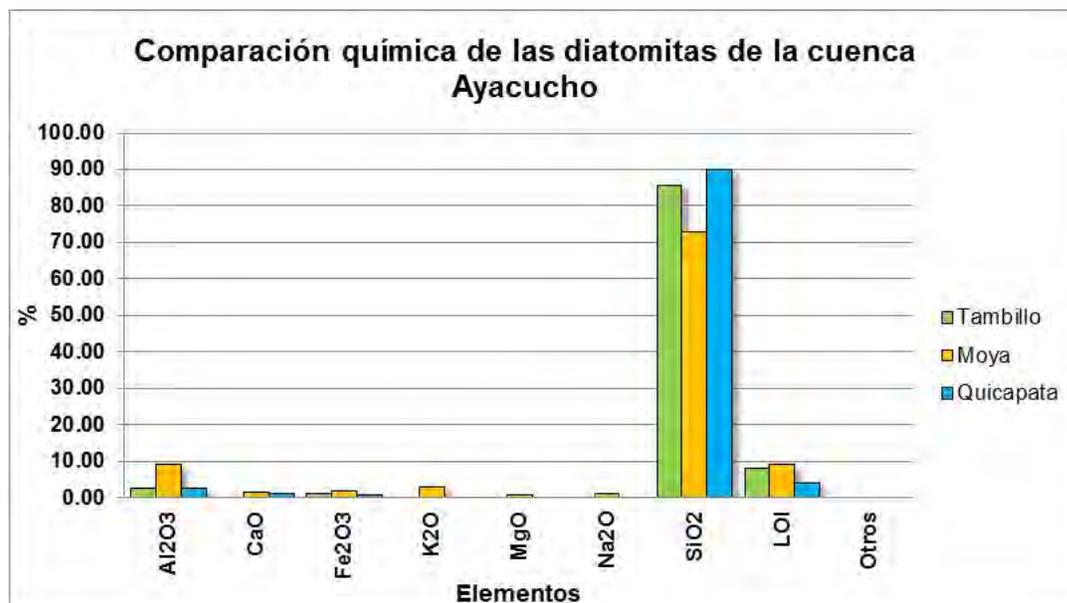


Gráfico 6: Comparación química de las diatomitas de la cuenca Ayacucho

5.3 Estudio petrominerográfico

Estudios petrográficos de las diatomitas de Quicapata indicaron que presentan textura criptocristalina, contienen como mineral esencial ópalo con 90% en promedio y como minerales accesorios arcillas, cuarzo, biotita, plagioclasa (Agramonte, 1978).

5.4 Estudio por difracción de rayos X

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas invisibles, que ocupan una pequeña parte del espectro, con longitudes de onda que varían entre los 100 Å y los 0,02 Å. La difracción de rayos X es una de las técnicas más usadas para el análisis cualitativo y cuantitativo de fases sólidas cristalinas en muestras de polvo. Se produce al interaccionar un haz de rayos X de una determinada longitud de onda, con una sustancia cristalina

Para el estudio se utilizó el difractómetro de rayos X SHIMADZU XRD-6000, con energía de 40 kv y 30 mA.

Los estudios se realizaron con la finalidad de identificar minerales que se encuentran como impurezas, dentro de las diatomitas. En el anexo IV se muestran los difractogramas de las muestras estudiadas, donde principalmente se observan las siguientes especies minerales: sílice (amorfa, cuarzo y cristobalita), plagioclasas (anortita y albita), caolinita y montmorillonita.

La preparación de las muestras para este estudio consistió en lo siguiente:

- Preparación de la muestra consistente en chancado y molienda hasta la malla -325.
- Irradiación de la muestra, dependiendo del barrido angular, haciendo de 4 a 80°, en un tiempo de 30 segundos por cada grado.
- Identificación de los minerales presentes en la muestra, mediante el software, denominado XRD 6000, que cuenta el equipo utilizado para este fin.

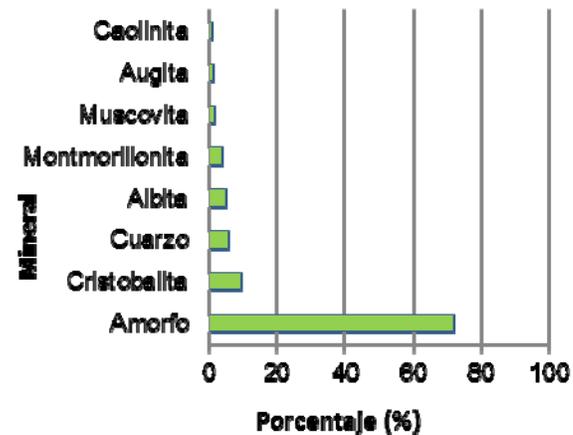
5.4.1 Yacimiento de Tambillo

En el yacimiento de diatomitas de Tambillo se presentan principalmente especies minerales como la sílice (amorfa, cristobalita, cuarzo), plagioclasas (albita) y arcillas (montmorillonita, caolinita). Del gráfico se observa que las muestras estudiadas indican una baja cristalinidad, al estar constituida en promedio por un 80% de sílice amorfa, típico para estos materiales.

Muestra Mte-008-10
Yacimiento Tambillo
Coordenadas 8543176N, 596406E
Descripción Diatomita blanca grisácea

Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Amorfo	-	71,85
Cristobalita	SiO ₂	9,38
Cuarzo	SiO ₂	5,79
Albita	NaAlSi ₃ O ₈	5,19
Montmorillonita	Ca _{0.2} (AlMg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·4H ₂ O	3,99
Muscovita	(K,Na)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si _{3.1A} O ₁₀ (OH) ₂)	1,6
Augita	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆	1,2
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	1,00

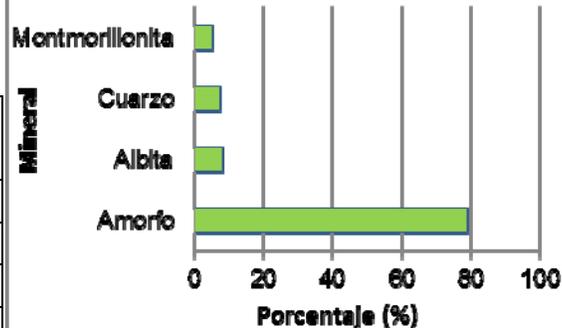
Gráfico 7 Muestra Mte-008-10



Muestra Mte-011-10
Yacimiento Tambillo
Coordenadas 8541952N, 596174
Descripción Diatomita blanca cremosa

Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Amorfo	-	78,95
Albita	NaAlSi ₃ O ₈	8,42
Cuarzo	SiO ₂	7,37
Montmorillonita	Ca _{0.2} (AlMg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·4H ₂ O	5,26

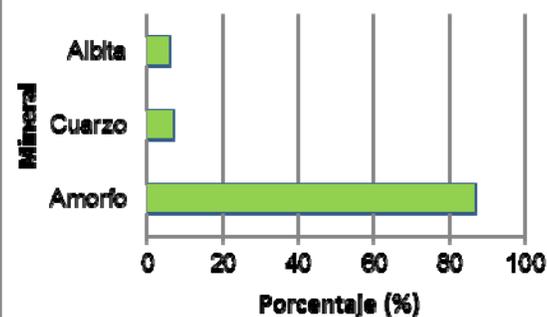
Gráfico 8 Muestra Mte-011-10



Muestra Mte-012-10
Yacimiento Tambillo
Coordenadas 8540569N, 594269E
Descripción Diatomita blanca

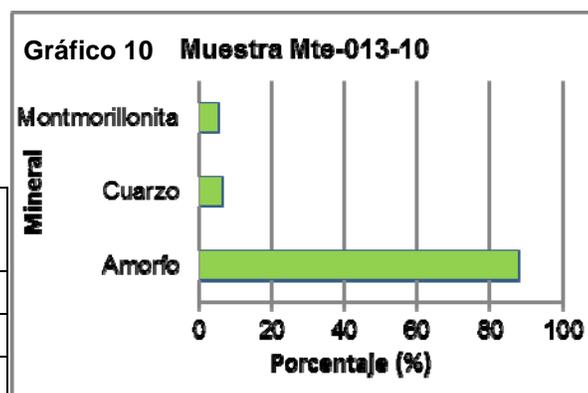
Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Amorfo	-	86,96
Cuarzo	SiO ₂	6,96
Albita	NaAlSi ₃ O ₈	6,08

Gráfico 9 Muestra Mte-012-10



Muestra Mte-013-10
 Yacimiento Tambillo
 Coordenadas 8540820N, 594360E
 Descripción Diatomita blanca

Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Amorfo	-	88,00
Cuarzo	SiO ₂	6,56
Montmorillonita	Ca _{0.2} (AlMg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·4H ₂ O	5,44

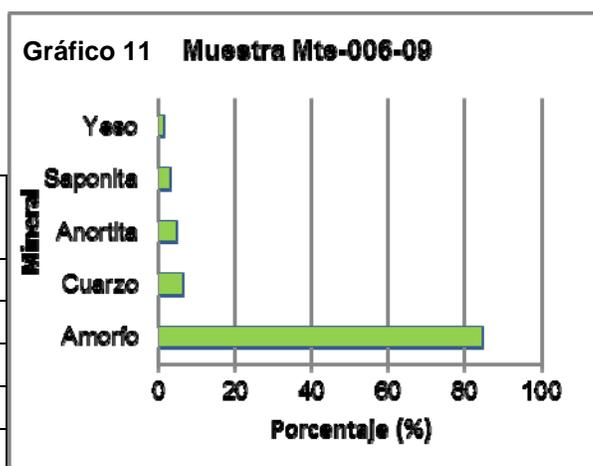


5.4.2 Yacimiento de Moya

En el yacimiento de diatomitas de Moya se presentan principalmente especies minerales como la sílice (amorfa y cuarzo) y anortita. Del gráfico se observa que las muestras estudiadas indican una baja cristalinidad, al estar constituida en más de un 80% por sílice amorfa, como es típico para estos materiales.

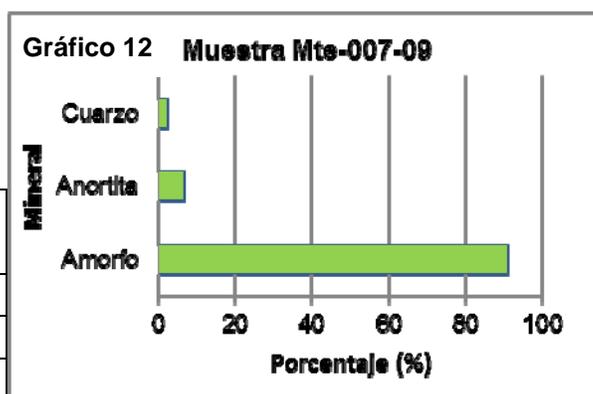
Muestra Mte-006-09
 Yacimiento Moya
 Coordenadas 8551716N, 593680E
 Descripción Diatomita blanca cremosa

Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Amorfo	-	84,48
Cuarzo	SiO ₂	6,45
Anortita	NaAlSi ₃ O ₈	4,61
Saponita	CaO·2Mg ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·4H ₂ O	2,92
Yeso	CaSO ₄ ·2H ₂ O	1,54



Muestra Mte-007-09
 Yacimiento Moya
 Coordenadas 8552347N, 592853E
 Descripción Diatomita blanca cremosa

Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Amorfo	-	91,07
Anortita	(Ca, Na) (Si, Al) ₄ O ₈	6,56
Cuarzo	SiO ₂	2,37



5.5 Estudio por propiedades físicas

Se realizaron pruebas de propiedades físicas según la norma ASTM C 97-02 a muestras representativas de los yacimientos de Tambillo y La Moya, cuyos resultados se muestran en las tablas 17 y 18.

TABLA 17

PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS DIATOMITAS DEL YACIMIENTO DE TAMBILLO

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Densidad seca (gr/cm ³)	Densidad húmeda (gr/cm ³)	Porosidad aparente (%)	Absorción (%)	Peso específico aparente (KN/m ³)
Mte-001-09	4,31	3,93	0,73	1,19	45,59	62,40	7,16
Mte-013-10	3,75	1,85	0,70	1,34	63,67	90,60	6,89

TABLA 18

PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS DIATOMITAS DEL YACIMIENTO DE LA MOYA

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Densidad seca (gr/cm ³)	Densidad húmeda (gr/cm ³)	Porosidad aparente (%)	Absorción (%)	Peso específico aparente (KN/m ³)
Mte-007-09	3,75	1,91	0,76	1,34	58,54	77,09	7,44

Las diatomitas del yacimiento de Quicapata tienen una densidad promedio de 2,24 gr/cm³, una densidad aparente de 7,35 KN/m³ y una capacidad de absorción de 146,35%.

Para el estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta industrial de diatomita en Pisco, se realizaron diversos ensayos a muestras de yacimientos de diatomita de Ayacucho, con la finalidad de determinar sus propiedades físicas. Los que se resumen en las tablas 19 y 20.

TABLA 19
DETERMINACIÓN FÍSICA DE LAS DIATOMITAS CALCINADAS DE AYACUCHO

Muestra	Densidad aparente (g/lt)				Gravedad específica			
	Mineral entero	Mineral polvo	Sin fundente	Con fundente	Mineral entero	Mineral polvo	Sin fundente	Con fundente
Acocro	1407,6	1587,7	1471	1272	1,41	1,59	1,47	1,27
Ayacucho	1365	1684,6	1352	1350	1,37	1,69	1,35	1,35
La Quinoa	1436,7	1803,2	1457	1265	1,44	1,80	1,45	1,26
Tambillo	1505	1819,5	1569	1589	1,51	1,82	1,56	1,58
Filter cel		1410				1,41		
Estandar			1360				1,36	
Hyflow supercel			1289				1,28	

Fuente: Estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta industrial de diatomita en Pisco.

TABLA 20
**PORCENTAJE DE PERDIDA POR CALCINACIÓN DE LAS DIATOMITAS DE
AYACUCHO**

Muestra	Peso inicial (gr)	Peso calcinado (gr)	Perdida por calcificación (gr)	Perdida por calcificación (gr)
Acocro	45	39,75	5,25	11,67
Ayacucho	45	40,50	4,41	9,80
La Quinoa	45	40,25	4,75	10,56
Tambillo	45	41,35	3,65	8,14

Fuente: Estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta industrial de diatomita en Pisco.

5.6 Interpretaciones

De los diferentes ensayos realizados a las diatomitas de la cuenca Ayacucho se puede concluir lo siguiente:

Las diatomeas que se encuentran en la Formación Ayacucho, son en su mayoría de ambientes lagunares, con influencia marina. Las diatomitas se encuentran poco preservadas mostrándose las frústulas fracturadas hasta en un 60% siendo el tamaño predominante de frústulas entre los 50 - 100µm.

Los géneros de diatomeas más abundantes en la cuenca Ayacucho son: Melosira, Cyclotella, de la clase Coscinodiscophyceae; Rophalodia, Gomphonema y Ephitemia, de la clase Bacillariophyceae; Fragilaria, de la clase Fragilariophyceae.

De los resultados de los análisis químicos se concluye que las diatomitas estudiadas, difieren en su calidad de acuerdo al siguiente orden: El yacimiento de Quicapata ubicado al suroeste de la cuenca Ayacucho, son las de mejor calidad, con un contenido de SiO_2 en promedio mayor al 89%, mientras que el 11% restante la conforman las impurezas representadas por la alúmina (Al_2O_3) y óxidos (Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O y Na_2O). El yacimiento de Tambillo, sigue en importancia, poseen un contenido en SiO_2 en promedio mayor al 85%, mientras que el 15% restante está conformado por la alúmina (Al_2O_3) y óxidos (Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O y Na_2O). Por último el yacimiento de Moya, que poseen un contenido en SiO_2 en promedio mayor al 70% y el 30% está conformado por la alúmina (Al_2O_3), óxidos (Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O y Na_2O).

CAPÍTULO 6

GEOLOGÍA ECONÓMICA

6.1 Reservas, recursos minerales, potencial

El cálculo de recursos se desarrolló mediante métodos tradicionales, los cuales se fundamentan en los principios de interpretación de las variables entre dos puntos contiguos de muestreo, lo que determina la construcción de bloques geométricos, a los que se le asignan leyes medias para la estimación de recursos.

La estimación de recursos es siempre realizada en bloques, donde la geometría se define por los trabajos de exploración, en el caso de los métodos clásicos, o en bloques de cálculo definidos por la malla o red en el caso de los métodos computacionales. Es aquí donde radica la diferencia fundamental entre los métodos clásicos y los asistidos por computadoras ya que los primeros determinan las reservas en bloques de cálculos de grandes dimensiones y los segundos en bloques de pequeñas dimensiones compatibles con la densidad de información.

Según Lepin y Ariosa (1986), los métodos clásicos de estimación más conocidos son:

- Método del promedio aritmético o bloques análogos
- Método de los bloques geológicos
- Método de los bloques de explotación
- Método de los polígonos
- Método de las isolíneas.
- Método de los perfiles

La clasificación se fundamentó en el sistema conocido como código JORC, el cual se detalla a continuación.

Definiciones (Código JORC)

Recurso mineral es una concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco en o sobre la corteza de la Tierra en forma y cantidad en que haya probabilidades razonables de una eventual extracción económica.

La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y continuidad de un recurso mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencias y conocimientos geológicos específicos. Los recursos minerales se subdividen, en orden ascendente de la confianza geológica, en categorías de Inferidos, Indicados y Medidos.

- *Recurso mineral inferido* Se basa en información inferida mediante técnicas apropiadas de localizaciones como pueden ser afloramientos, zanjas, rajos, laboreos y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confiabilidad incierta. Puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume pero no se certifica la continuidad geológica ni de la ley.
- *Recurso mineral indicado:* Se basa en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas. Puede estimarse con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Las ubicaciones están demasiado espaciadas, pero está espaciada con suficiente cercanía para que se pueda suponer continuidad.
- *Recurso mineral medido:* Se basa en la exploración detallada e información confiable sobre muestreo y pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas puede estimarse con un alto nivel de confianza el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido de mineral. Las ubicaciones están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y/o de la ley.

Reserva mineral es la parte económicamente explotable de un recurso mineral. Se subdividen en orden creciente de confianza en reservas probables y reservas probadas.

- *Reserva probable:* Es la parte económicamente explotable de un recurso mineral indicado y en algunas circunstancias recurso mineral medido.

- *Reserva probada*: Es la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido.

El cálculo de los recursos minerales se ha realizado tomando en cuenta como base la información obtenida en campo (mapeo geológico, perfiles y muestreo), donde el criterio del cálculo de las áreas de cada sección geológica se basó en métodos geométricos.

Además se aplicó un factor de dilución del 30% al tonelaje del mineral.

Se determinó el volumen de las capas de diatomitas de los yacimientos, mediante el método de los bloques geológicos. Para este método, el cuerpo mineral se divide en bloques homogéneos de acuerdo a las consideraciones geológicas, únicas para cada yacimiento. De esta forma el cuerpo mineral de morfología compleja se sustituye por un sistema de prismas poliédricos de altura que corresponde con la potencia media dentro de cada bloque (ver figura 13). El contorneo se realiza en cualquier proyección del cuerpo, además es necesario trazar los límites de los bloques geológicos independientes.

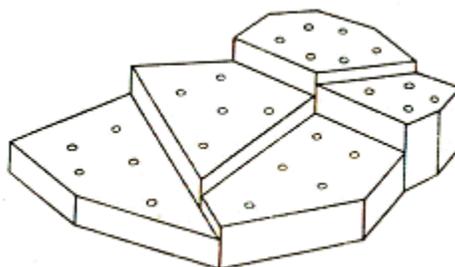


Figura 13: Estimación de reservas por el método de bloques geológicos

Generalmente se forman bloques tomando en consideración la variación de los siguientes parámetros:

- Capas o cuerpos presentes en el yacimiento
- Existencia de intercalaciones estériles
- Potencia de las capas y/o cuerpo del mineral
- Profundidad o cota de nivel
- Tipos tecnológicos, calidad o contenido de componente útil (mena rica y mena pobre)
- Condiciones hidrogeológica (por encima y por debajo del nivel freático)
- Coeficiente de destape o relación estéril mineral.

- Situación tectónica
- Grado del reconocimiento del mineral a cubicar.

Este sistema puede ser aplicado a cuerpos minerales de cualquier morfología, explorados según una red regular o irregular y cualesquiera que sean las condiciones del yacimiento. El problema fundamental de esta técnica radica en que durante el desarrollo y explotación del yacimiento, es necesario reajustar todos los bloques para que se acomoden al método de explotación.

En todos los métodos el tonelaje de las reservas, recursos y potencial, se estima multiplicando el volumen del material por su densidad media.

Densidad diatomita (t/m^3) = 0,4

Al no existir reservas significativas por falta de trabajos evaluativos, se calculó el volumen de los recursos minerales medidos e indicados de las diatomitas presentes en la cuenca Ayacucho, resumidas en las tablas 21 y 22.

TABLA 21
RESUMEN DE LOS RECURSOS MINERALES EN LOS YACIMIENTOS DE TAMBILLO, QUICAPATA Y MOYA. AÑO 2011

Yacimiento	Recursos		Total
	Medidos	Indicados	
Tambillo	6 266 810	5 866 882	12 133 692
Quicapata	2 285 990	-	2 285 990
La Moya	1 203 451	-	1 203 451
	9 756 251	5 866 882	15 623 133

TABLA 22
DETALLE DE LOS RECURSOS MINERALES MEDIDOS E INDICADOS

Recursos Medidos

Yacimiento	Area m ²	Espesor m	Volumen m ³	Densidad	Tonelaje T.M.	Dilución	Neto T.M.
Tambillo	1238886	1,9	2353883,4	0,4	941553,36	282466,01	659 087
	1364332	3	4092996,0	0,4	1637198,40	491159,52	1 146 039
	3807919	3	11423757,0	0,4	4569502,80	1370850,84	3 198 652
	1734934	2,6	4510828,4	0,4	1804331,36	541299,41	1 263 032
Total							6 266 810
Quicapata	3401772	2,4	8164252,8	0,4	3265701,12	979710,34	2 285 991
La Moya	5372553	0,8	4298042,4	0,4	1719216,96	515765,088	1 203 452

Recursos Indicados

Yacimiento	Area m ²	Espesor m	Volumen m ³	Densidad	Tonelaje T.M.	Dilución	Neto T.M.
Tambillo	576204	3	1728612	0,4	691444,80	207433,44	484 011
	701463	3	2104389	0,4	841755,60	252526,68	589 229
	548313	3	1644939	0,4	657975,60	197392,68	460 583
	322993	3	968979	0,4	387591,60	116277,48	271 314
	1448061	1,9	2751315,9	0,4	1100526,36	330157,91	770 368
	2355743	1,9	4475911,7	0,4	1790364,68	537109,40	1 253 255
	1608635	1,9	3056406,5	0,4	1222562,60	366768,78	855 794
	1407533	3	4222599	0,4	1689039,60	506711,88	1 182 328
Total							5 866 883

6.2 Explotación y tratamiento de las diatomitas

Los procesos de producción al que deben ser sometidos las diatomitas naturales para que reúnan las especificaciones que requiere una determinada industria, varían según las características y los usos a los que serán destinados. A continuación se representa un esquema general de los procesos de producción de la diatomita. (Ver figura 14)

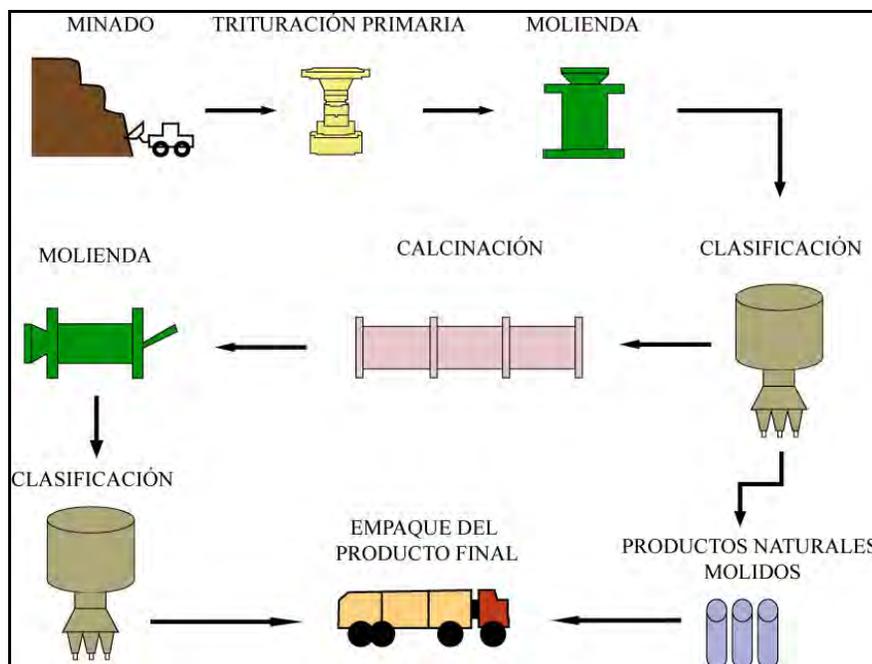


Figura 14: Proceso de producción de la diatomita

6.2.1 Explotación o minado

Por tratarse de acumulaciones sedimentarias casi horizontales y de material poco consistente, su explotación es sencilla y a tajo abierto, sin embargo en depósitos que tienen sobrecarga de material, la explotación es subterránea. La diatomita en bruto es transportada a los almacenes, en pilas, para su secado al medio ambiente, ya que por lo general contiene un 40% de humedad, llegando en algunos casos a 60%.

6.2.2 Tratamiento

El tratamiento de diatomita consiste en una serie de procesos, variando el tratamiento de acuerdo con el uso al que será destinado. A continuación se resume cada uno de los procesos:

Trituración

La primera etapa de trituración de la diatomita natural normalmente es por medio de molinos de martillo para conservar la estructura de la diatomea, evitando la ruptura de las frústulas, este proceso es para desagregar el material, obtener material mas homogéneo y remover impurezas.

Molienda/Secado

La molienda y el secado se realizan de manera simultánea, donde las partículas suspendidas de diatomitas son transportadas en una corriente de gases calientes.

El secado del mineral natural tiene gran importancia en el proceso ya que de ello depende la buena operación de los equipos de clasificación. Los secadores son usados para reducir la humedad en un 15% aproximadamente, operando en un rango de temperatura desde los 70° hasta los 430°C.

Clasificación

Se realiza con la finalidad de separar la diatomea de las impurezas (arenas, arcillas, cuarzo, etc.). En el clasificador se realiza las separaciones de material por tamaño de partículas y/o según la gravedad específica. Tres son las variables principales para lograr una clasificación eficiente:

- Velocidad del rotor del clasificador, en RPM (Revoluciones por minuto), el cual se controla con un variador de frecuencia y actúa en forma directa sobre la granulometría del producto.
- Compuerta de aire auxiliar, la cual sirve para regular la entrada de aire auxiliar al sistema y actúa principalmente sobre la densidad del producto clasificado.
- Ranuras de retrolavado, que son ranuras verticales que sirven para regular la entrada del aire al exterior del equipo, lo que causa el aumento de recolección de finos.

Las partículas de diatomitas suspendidas que salen del secador pasan a través de una serie de ventiladores, ciclones y separadores a una casa de bolsas, donde estas operaciones secuenciales separan el material en varios tamaños, removiendo impurezas y rechazando el agua absorbida.

Calcinación con o sin fundente

La calcinación es un proceso industrial para mejorar la calidad de las diatomitas, porque produce cambios favorables en sus propiedades físicas (cambio de granulometría y eliminación de la materia orgánica que obstruye los poros de las diatomeas) y químicas

(eliminación de la acción nociva del hierro y calcio sobre las propiedades organolépticas del vino).

Para la calcinación con fundente generalmente se adiciona un fundente antes de la calcinación (entre 2 y 8%) que puede ser sosa cáustica, cloruro de sodio o hidróxido de sodio. El fundente agregado sinteriza las partículas de diatomita, aumentando el tamaño de esta, permitiendo con esto una tasa de flujo mayor durante la filtración de líquido, además elimina la coloración oscura que adquieren las muestras con la calcinación. La temperatura alcanzada es 1200°C.

En la calcinación sin fundente las temperaturas varían entre 650° y 1200°C y se le denomina así porque la diatomita es calcinada sin un agente fundente, el resultado es una diatomita con grandes partículas, grandes poros y pequeñas áreas superficiales, ajustando la distribución del tamaño de la partícula.

El procedimiento dependerá de las características de la diatomita en bruto y del producto final. Como productos finales se pueden obtener: diatomita natural, calcinada y flujo calcinado con fundente.

Ultima molienda

Posterior a la calcinación se realiza una segunda molienda, el material existente en el horno es adicionalmente molido para obtener productos de tamaño más fino que los obtenidos anteriormente de acuerdo a las especificaciones del mercado.

Clasificación

El material producido en la molienda es nuevamente clasificado de acuerdo a las especificaciones del mercado, es decir, separan el polvo en varios tamaños y remueven las impurezas.

6.2.3 Productos

Tipo grado natural de diatomita (filter cel)

Se obtiene mediante tratamiento físico, el cual consiste en pasar el material por la molienda y secado simultáneamente. La molienda se realiza al ser trasladado el material a través de ductos por medio de ventiladores hasta un clasificador de gruesos, evitando

con este tipo de separación, la destrucción de las frústulas, cuya estructura debe mantenerse intacta, además de remover impurezas como la arena y arcillas, entre otras. Con este tratamiento se obtiene partículas más finas, que nos proporciona mayor calidad y menor velocidad de flujo.

Sus aplicaciones son en la industria de la cerveza, metales preciosos, vinos, separación de sólidos ultramicroscópicos, etc.

Tipo grado calcinado de diatomita

Se obtiene mediante una molienda en seco, clasificación (clasificadores neumáticos) y calcinación con temperatura $> 1000^{\circ}\text{C}$. Finalmente el material es clasificado con aire para obtener grados de distinta distribución de tamaño de partícula.

Sus aplicaciones son en los extractos alcohólicos, cerveza, sidra, jugos de frutas en general, adhesivos, productos farmacéuticos, jarabes, tratamiento de agua, vino, levadura, antibióticos, etc.

Tipo grado calcinado con fundente de diatomita (hyflo super cel)

Previo a la calcinación se agrega un fundente (normalmente carbonato de sodio), con este procedimiento se consigue que las diatomitas tengan mayor tamaño y consecuentemente un material más permeable. Finalmente la clasificación neumática separa el producto en grados de diferente tamaño de partícula.

El calcinado con adición de fundente (3-10% en peso) mejora la calidad del producto para determinados usos. Dicho calcinado produce una incipiente fusión de la estructura de la frústula con pérdida del agua de la estructura.

Sus aplicaciones son en los aceites vegetales y grasas animales, químicos orgánicos e inorgánicos, aceite para corte de metales, solvente para limpieza en seco, colorantes y pinturas, aceites lubricantes, glucosa, lacas y barnices, jabón, maltosa, pectina, adhesivos, caseína, ésteres de celulosa, sidra, dextrina, grasas, gomas sintéticas, mosto de cerveza, etc.

TABLA 23
RANGOS DE CALIDAD PARA LAS DIATOMITAS

Propiedades	Diatomita		
	Natural	Calcinada	Calcinada con fundente
Color	Blanco a gris	Rosado	Blanco
Densidad seca (g/l)	100,00	150,00	144,00
Densidad húmeda (g/l)	245,00	323,00	303,00
Porcentaje de retención	1,00	6,00	6,00
pH	7,00	7,00	10,20
Peso específico	2,10	2,15	2,30
Poros promedio (μm)	1,50	3,50	17,00
Velocidad rel./flujo (m^3/seg)	100,00	200,00	500,00

Fuente: J. Bustamante (1998). Geología, evaluación comparativa y cuantificación de reservas de los depósitos de diatomitas en la región Arequipa

6.3 Producción y comercio

El mercado de la diatomita a nivel mundial está controlado por grandes empresas internacionales que cuentan con tecnología de punta y marcas reconocidas, ofreciendo un producto de calidad garantizado.

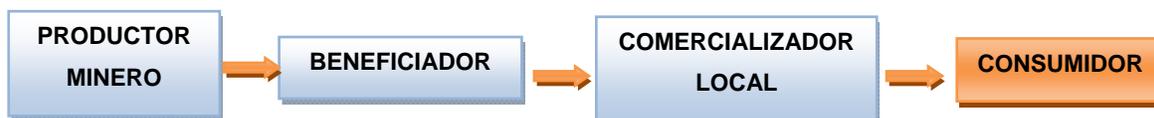
El comercio de las diatomitas en el país se concentra en la exportación de la materia prima en bruto, sin ningún valor agregado, mientras que la importación es de productos de diatomita procesada y estandarizada, de acuerdo a las necesidades y exigencias de las diversas industrias, principalmente en las industrias cervecera, papelera, plásticos, etc.

Es indispensable invertir en la construcción de plantas de procesamiento, a fin de procesar y empezar a dar valor agregado a las diatomitas de los principales yacimientos peruanos ubicados en Ayacucho, Arequipa e Ica y de esta manera poder competir en el mercado nacional e incursionar en mercados externos.

La producción que existe en la región Ayacucho está dirigida mayormente para el mercado interno, que viene siendo utilizado como componente en la industria del plástico de la pintura y la ladrillera. Las pequeñas empresas que explotan la diatomita en la región,

sólo producen para el mercado nacional, la mayoría cuenta con sus propias canteras de donde se abastecen del material. Dicho material es tratado (trituración, secado/molienda) y comercializado en Lima.

Cadena productiva



6.3.1 Producción

Producción nacional

De acuerdo con la información del Ministerio de Energía y Minas, la producción nacional de diatomita durante el año 2010 fue de 37841 toneladas, constituyendo más del 90% de la producción nacional generada en la región Arequipa.

En la última década la producción experimentó un crecimiento promedio anual del 3%. Dicho crecimiento se debió a que durante el periodo 2001-2007 la producción nacional experimentó un crecimiento constante del 5% promedio anual, mientras que durante los siguientes años (periodo 2008-2010), este se mantuvo casi invariable con un ligero decrecimiento menor al 1%. Dicho indicador va de la mano con la recesión de la demanda industrial a nivel mundial (tabla 24 y gráfico 13). En los últimos años la producción nacional de diatomita viene siendo requerida por la industria ladrillera, para la elaboración de productos más livianos en la construcción.

TABLA 24
PRODUCCIÓN DE DIATOMITA EN EL PERÚ POR REGIONES
(EN TONELADAS MÉTRICAS)

Regiones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ica	0	333	300	267	751	3,110	2754	2000	1700	1768	1661
Ayacucho	4674	934	1695	0	0	0	543	200	180	180	180
Arequipa	39401	31000	31000	34107	35000	34000	36021	39430	40240	39500	36000
Lima		18	0	0	0	18	7	0	0	0	0
Total	44075	32285	32995	34374	35751	37128	39325	41630	42120	41448	37841

Fuente: Dirección General del Ministerio de Energía y Minas (2000-2010).



Gráfico 13: Evolución de la producción de diatomitas en el Perú (años 2000-2010).

La producción nacional se relaciona con la industria de la construcción, papel, plásticos, bebidas, aceites, etc., siendo el mercado nacional abastecido en gran parte por la importación y por la producción nacional. Las diatomitas que se importan tienen características específicas para cubrir los requerimientos de las industrias, especialmente para el filtrado.

Los principales productores nacionales de diatomita son:

- Manrique Vda. de Butiler, Margarita (Arequipa)
- Sociedad Minera Arequipa Minerals S.A. Polobaya (Arequipa)
- Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A. (Ica)
- Sandiga Bancalari Dionisio Abraham San Clemente (Ica)

Las principales industrias consumidoras de diatomita natural o calcinada en el país, son: Industria de bebidas, aceites, vinícola, construcción, plástico y papel, para ser usadas como material de filtración, material de relleno, aislamiento, abrasivo, adsorbente, aditivo y soporte de catalizadores. En la región Arequipa utilizan la diatomita como material de carga para la elaboración de ladrillos.

Canteras en el Perú

Las diatomitas que se explotan actualmente no son de la mejor calidad. Los yacimientos conocidos de mayor importancia se encuentran principalmente en las regiones de Ayacucho (Quicapata), Arequipa (Tarucani) e Ica (La Suerte), algunos de ellos están en explotación. En el gráfico 14, se observa la distribución en porcentaje de las canteras de diatomitas ubicadas por regiones.



Gráfico14: Canteras y ocurrencias de diatomitas en el Perú

Producción mundial

La producción mundial de diatomita se mantuvo casi estacionaria durante los últimos años. El gráfico 15, representa la estructura y distribución de la producción mundial de diatomita en el año 2010. Todavía no son publicadas las estadísticas para los años 2011 y 2012.

TABLA 25
PRODUCCIÓN MUNDIAL DE DIATOMITA POR PAISES (EN MILES DE T. M.)

País	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Estados Unidos	644	624	599	620	653	799	687	764	575	595
China	350	370	380	390	410	420	420	440	440	400
Dinamarca	231	230	232	233	234	235	230	230	225	225
Japón	129	124	112	125	130	130	120	115	110	110
México	69	62	53	59	62	63	63	83	81	80
Reino Unido	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Francia	85	80	80	75	75	75	75	75	75	75
Argentina	17	23	36	8	10	39	50	50	62	50
España	35	35	35	35	35	34	34	34	50	50
Turquía	10	10	10	20	25	45	33	63	28	30
Italia	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Chile	23	30	26	30	27	19	25	25	23	25
Australia	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Perú	35	35	35	35	35	35	35	35	10	10
Otros	275	233	253	236	241	246	202	210	147	51
Total	1995	1941	1976	1991	2062	2265	2099	2249	1951	1826

Fuente: Minerals Yearbook (2001 - 2010), USGS.

Estados Unidos es el principal productor y consumidor mundial según información del Mineral Yearbook (2010), con una producción anual de 595,000 toneladas. Cuenta con 7 empresas para la producción de diatomita y 9 instalaciones de tratamiento en California, Nevada, Oregon y Washington. Una de estas empresas World Minerals es líder mundial en el mercado, con una producción anual estimada en 300,000 toneladas, cuyos usos principales son el filtro ayuda y la carga funcional.

China es el segundo productor de diatomita, con una producción anual de 400,000 toneladas, cuenta con más de 50 canteras en 14 provincias. Aproximadamente el 54% de las reservas se encuentran en la provincia de Jilin, donde se localiza la empresa más grande, Linjiang Celite Diatomite Co. Ltd.

Dinamarca es el tercer productor a nivel mundial, con una producción anual de 225,000. Las principales empresas productoras son: Isoraito Mining Co. Ltd., Sakamoto Mining Co.

Ltd., Hakusan Industry Co. Ltd., Showakagaku Co. Ltd. y Nittetsu Mining Co. Ltd. La producción de diatomita en este país se destina a la carga funcional o relleno, filtro ayuda (cerveza, sake, azúcar y aceite), materiales para construcción y refractarios.

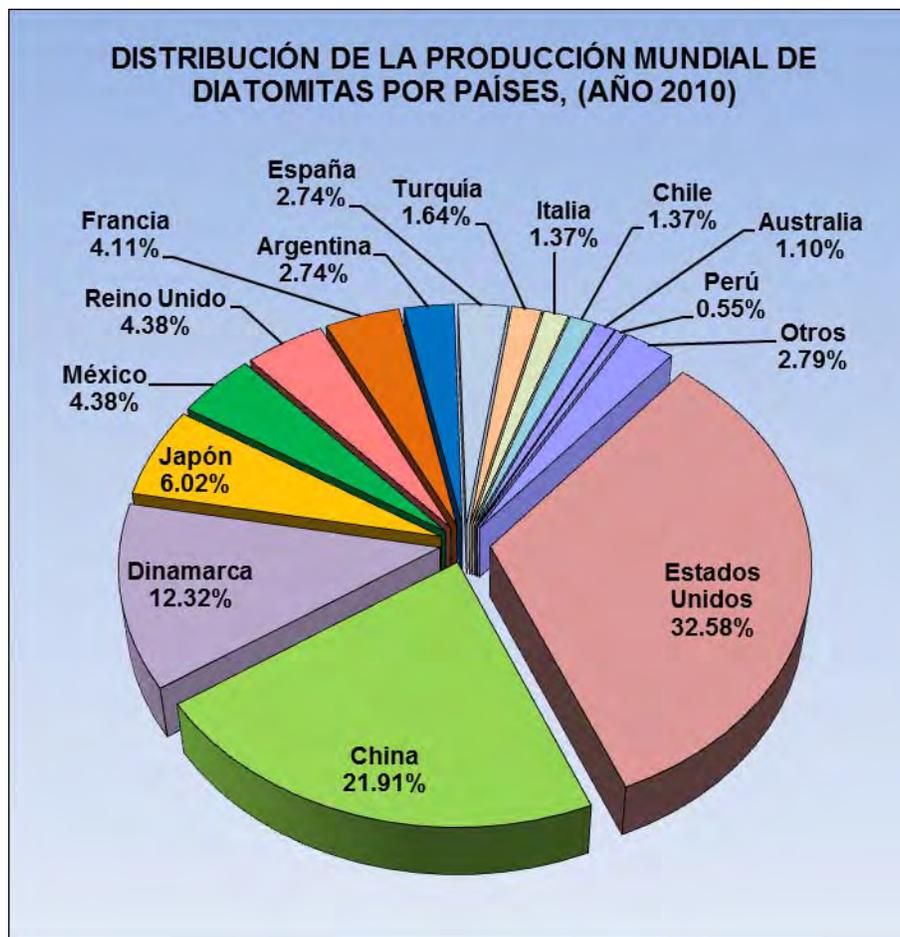


Gráfico 15: Distribución de la producción mundial de diatomitas por países (USGS, 2010)

6.3.2 Comercio

El comercio exterior de la diatomita se ha desarrollado a pequeña escala, se importa diatomita procesada de varios países del mundo para cubrir las necesidades de diversas industrias y se exporta diatomita a granel. La razón es que en nuestro país no existe una planta de procesamiento que permita dar un mayor valor agregado a esta sustancia y genere el ingreso de divisas al país. Se debe efectuar investigaciones puntuales y generales sobre la elaboración de productos en base a las diatomitas y análisis económicos del costo-beneficio.

Importaciones

En el gráfico 16, se observa que en el año 2010 la diatomita importada provino principalmente de Estados Unidos, México y en menores cantidades Chile, entre otros para su uso en industrias como el filtrado de líquidos, aceites, pinturas y otras.

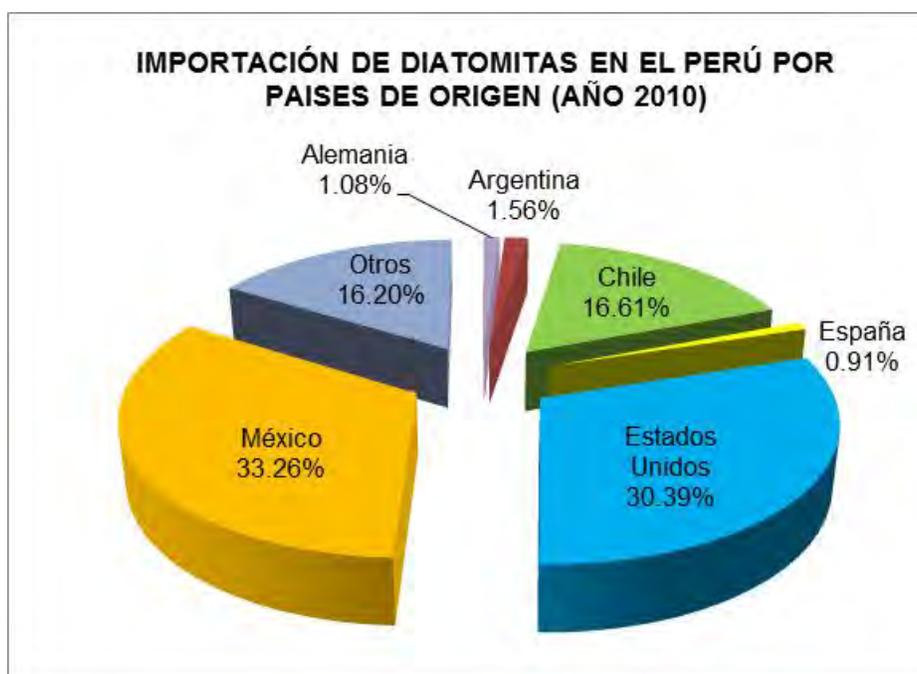
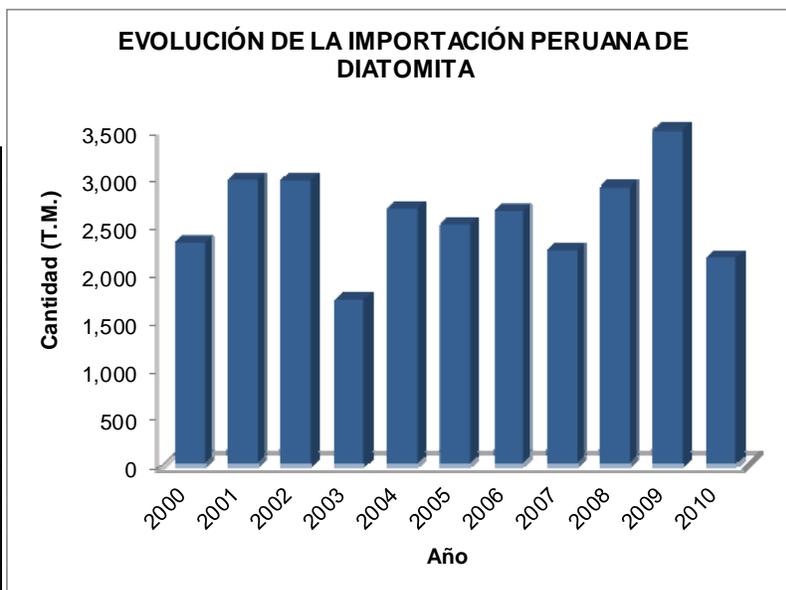


Gráfico 16: Importación de diatomitas en el Perú por países de origen (año 2010)

La importación de la diatomita se presenta variable durante los últimos once años, en el gráfico 17, se observó una tendencia creciente del año 2007 al 2009, sin embargo en el año 2010, esta disminuyó.

EVOLUCIÓN DE LA IMPORTACIÓN PERUANA DE DIATOMITA

Año	Importación	
	Cantidad (TM)	Valor CIF (dólares)
2000	2,323	997,716
2001	2,972	1,260,349
2002	2,966	1,279,176
2003	1,719	767,725
2004	2,676	1,228,903
2005	2,503	1,098,969
2006	2,649	1,089,620
2007	2,239	1,015,458
2008	2,900	1,315,242
2009	3,500	1,604,926
2010	2,163	700,880



Fuente: Elaborado a partir de información estadística anual de ADUANET - Perú (2000 - 2010).

Gráfico 17: Evolución de la importación peruana de diatomitas.

Las principales empresas importadoras de diatomita son:

1. Actividades Técnico Industriales S.A.C.
2. Certificaciones del Perú S.A.
3. Unión de Cervecería Peruana Backus y Johnston S.A.
4. Compañía Cervecera Ambev Perú S.A.C.
5. Compañía Cervecera del Sur del Perú S.A.
6. Southern Perú Copper Corporation.
7. Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.
8. Inversiones Interamericanas S.A.
9. Compañía Minera Ares S.A.C.
10. Fegasa Importaciones S.A.C.
11. Cervecería San Juan S.A.A.
12. Messer Gases del Perú S.A.
13. Cía. Minera Poderosa S.A.
14. Spena Fish Acuicultura S.R.L.
15. Química Service S.R.L.
16. Xstrata Tintaya S.A.
17. Intradevco Industrial S.A.
18. Derivados del Maíz S.A.

19. Mercantil S.A.
20. Chemsupply S.A.C.
21. Aruntani S.A.C.
22. Unique S.A.

Los principales países importadores a nivel mundial son Estados Unidos y China.

Exportaciones

El gráfico 18, indica que en el año 2009 el Perú exportó diatomita natural principalmente a Chile, en donde es tratada para ser reexportada a Perú y otros países como diatomita tratada.

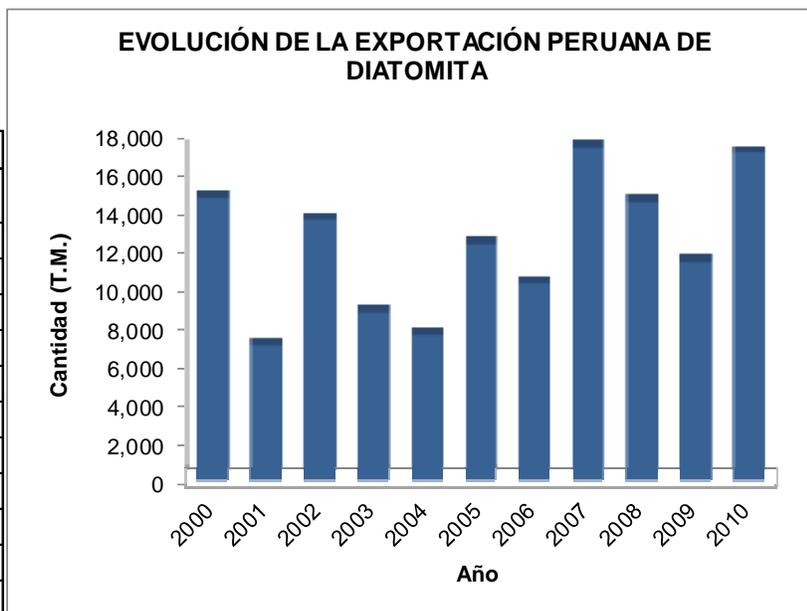


Gráfico 18: Exportación de diatomitas en el Perú por países de destino (año 2010)

La exportación de la diatomita se presenta variable durante los últimos diez años, teniendo su mayor pico en el año 2007 y 2010. A nivel mundial los principales países exportadores son Estados Unidos y China (gráfico 19).

EVOLUCIÓN DE LA EXPORTACIÓN PERUANA DE DIATOMITA

Año	Exportación	
	Cantidad (T.M.)	Valor FOB (dólares)
2000	14,596	329,636
2001	6,998	77,729
2002	13,426	208,104
2003	8,657	201,961
2004	7,529	269,133
2005	12,171	247,186
2006	10,136	169,873
2007	17,193	292,903
2008	14,375	590,551
2009	11,281	577,273
2010	16,880	1,073,562



Fuente: Elaborado a partir de información estadística anual de ADUANET - Perú (2000-2010).

Gráfico 19: Evolución de la exportación peruana de diatomitas.

6.3.3 Precios

En la tabla 26 se presenta los precios promedio estimados por tonelada de diatomita vendida, por los productores estadounidenses durante el periodo 2004-2011. El valor promedio por tonelada de diatomita calcinada para filtro y calcinada fundida para filtro, según la revista *Industrial Minerals* registró un incremento a partir de año 2010 (tabla 26).

TABLA 26
PRECIOS DE LA DIATOMITA EN EL MERCADO DE ESTADOS UNIDOS

Tipos de diatomitas	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
USA calcinada para filtros, del. RU, \$ / t*	222-245	222-245	222-245	370-410	370-410	370-410	555-610	575-640
USA, calcinada fundida para filtros, del. RU, \$ / t*	228-251	228-251	228-251	380-420	380-420	380-420	555-785	580-825

Fuentes: **Industrial Minerals* (2004 - 2009).

Según las cifras del U.S. Geological Survey fue de 299 dólares por tonelada métrica F.O.B. en planta para el año 2010, con un incremento del 17% comparado con los 255 dólares por tonelada del año 2009.

El precio de la diatomita varía ampliamente para el año 2010, de 9.00 dólares por tonelada para la fabricación del cemento a más de 400 dólares por tonelada para algunos usos de especialidad limitados en el mercado, como provisiones de arte y cosméticos.

Los valores medios para la diatomita utilizada en filtración aumentaron en un 5%, de 375 dólares por tonelada reportada en el 2009 a 394 dólares por tonelada en el 2010. El valor de diatomita utilizada con fines absorbentes se mantuvo sin cambios en 41 dólares por tonelada. El valor unitario de los materiales utilizados como rellenos disminuyó ligeramente a 412 dólares por tonelada en 2010. El valor promedio para usos especializados o de otro tipo en 2010 disminuyó en un 64% a 705 dólares por tonelada desde 1960 dólares por tonelada en el 2009.

En la tabla 27 vemos la evolución de los precios referenciales por principales aplicaciones industriales en el mercado de los Estados Unidos. Ellos difieren entre sí según sus características y aplicaciones. Ya que no existe un estándar de precios en nuestro país, se toman como referencia dichos precios.

TABLA 27
PRECIOS REFERENCIALES PARA LAS DIATOMITAS SEGÚN LOS PRINCIPALES
USOS INDUSTRIALES (VALOR POR T.M.)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Absorbentes	73	31	37	41	41	41	41
Cemento ²	-	-	3	9	9	7	9
Cargas	361	382	395	438	412	421	412
Filtración	269	262	264	352	380	375	394
Aislamiento	43	44	44	49	50	50	-
Otros usos ³	1020	652	932	230	3600	1960	705
Media ponderada	286	274	220	237	224	255	299

²Como ingrediente en cemento portland; ³Incluye abrasivos, agregados ligeros y usos no especificados

Fuente: Minerals Yearbook (2004 - 2010), USGS.

En la tabla 28 se muestra la evolución de los precios promedio de comercio exterior de diatomitas en el Perú, con precios de importación totalmente divergentes a los de exportación, y esto se debe a que reimportamos productos de diatomita ya

estandarizados y con características específicas requeridas por las diversas industrias, mientras que las exportaciones son del producto natural.

TABLA 28
PRECIOS DE LA DIATOMITA IMPORTADA Y EXPORTADA
EN EL PERÚ

Año	Importación US \$/t.	Exportación US \$/t.
2000	430	23
2001	424	11
2002	431	16
2003	447	23
2004	459	36
2005	439	20
2006	411	17
2007	454	17
2008	454	41
2009	459	51
2010	324	64

Fuente: Estadística anual de ADUANET-Perú (2000-2010)

CAPITULO 7

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La litología que contiene los depósitos de diatomitas en la zona de estudio, corresponde al miembro superior de la Formación Ayacucho, compuesta por una secuencia volcánica sedimentaria, con características favorables para la proliferación y acumulación de diatomeas y que finalmente constituyeron capas de diatomitas de 1,5 a 2,0 m de espesor medio.

La morfología está caracterizada por valles encañonados de paredes verticales y aborregadas, que hacen difícil la accesibilidad. Dichos valles encañonados son disecciones en las penillanuras generadas por líneas de drenaje cuyo trabajo erosivo fue mayormente vertical, favorecida por la posición subhorizontal de los estratos de la Formación Ayacucho.

Los géneros de diatomeas más abundantes en la cuenca Ayacucho son: *Melosira*, *Cyclotella*, de la clase *Coscinodiscophyceae*; *Rophalodia*, *Gomphonema* y *Ephitemia*, de la clase *Bacillariophyceae*; *Fragilaria*, de la clase *Fragilariophyceae*. Las diatomitas se encuentran en su mayoría poco preservadas mostrándose las frústulas fracturadas hasta en un 60% siendo el tamaño predominante de frústulas entre los 50 - 100µm.

Las diatomitas estudiadas, difieren en su calidad de acuerdo al siguiente orden: El yacimiento de Quicapata ubicado al suroeste de la cuenca Ayacucho, son las de mejor calidad, con un contenido de SiO_2 en promedio mayor al 89%, mientras que el 11% restante la conforman las impurezas representadas por la alúmina (Al_2O_3) y óxidos (Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O y Na_2O). El yacimiento de Tambillo, sigue en importancia, poseen un contenido en SiO_2 en promedio mayor al 85%, mientras que el 15% restante está conformado por la alúmina (Al_2O_3) y óxidos (Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O y Na_2O). Por último el yacimiento de Moya, que poseen un contenido en SiO_2 en promedio mayor al 70% y el 30% está conformado por la alúmina (Al_2O_3), óxidos (Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O y Na_2O).

Realizando las comparaciones con las especificaciones técnicas para el uso de diatomitas en la industria utilizando el criterio de la composición química, se determina que pueden ser usadas en: Las industrias de los ladrillos aislantes, polvos y gránulos absorbentes (SiO_2 entre 70 – 80% y $\text{Al}_2\text{O}_3 < 10\%$). En la industria de los plásticos y las pinturas como relleno ($\text{SiO}_2 > 85\%$). En la industrial del filtrado para lo cual se requiere bajar el contenido de $\text{CaO} < 1\%$

En la cuenca Ayacucho actualmente existen canteras que explotan las diatomitas para su comercialización como diatomita natural. La explotación la realizan a tajo abierto, en socavones y de manera artesanal. El volumen total aproximado de la producción mensual para el año 2011 es de 300 T.M. aproximadamente.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En la cuenca Ayacucho, los yacimientos de diatomita están vinculados genéticamente a la actividad volcánica que hubo durante el Mioceno, producto de los eventos tectónicos compresivos (fases Quechuas) que dieron lugar a las formaciones Huanta y Ayacucho.

De los resultados de los análisis químicos se concluye que las diatomitas de mejor calidad e interés económico en la cuenca Ayacucho se encuentran hacia el suroeste y sureste de la cuenca, comprendiendo principalmente los yacimientos de Quicapata y Tambillo, en rocas ignimbríticas de la Formación Ayacucho.

De acuerdo a las especificaciones técnicas para el uso de diatomitas en la industria utilizando el criterio de la composición química, pueden ser usadas en las industrias de los ladrillos aislantes, polvos y gránulos absorbentes (SiO_2 entre 70 – 80% y $\text{Al}_2\text{O}_3 < 10\%$). En la industria de los plásticos y las pinturas como relleno ($\text{SiO}_2 > 85\%$). Para el uso en la industrial del filtrado se requiere bajar el contenido de $\text{CaO} < 1\%$

Del estudio micropaleontológico de las diatomitas de la cuenca Ayacucho se concluye que las especies determinadas son características de ambientes lagunares, relativamente someros y con influencia marina, con pH ligeramente alcalino.

Las especies determinadas en el yacimiento de Tambillo son características de ambientes lagunares con influencia marina, (*Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) O. Muller, *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Muller, *Fragilaria* sp. *Gomphonema* sp., y *Melosira* sp.). La forma de las frústulas son predominantemente fragmentos elongados, siendo el tamaño predominante de frústulas entre los 50 - 100 μm y el porcentaje de frústulas enteras en promedio de un 35%.

Las especies determinadas en el yacimiento de Moya son características de ambientes lagunares con influencia marina (*Melosira* sp., *Melosira perpusilla*, *Melosira patagónica*, *Fragilaria* sp., *Gomphonema* sp., *Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) O. Muller, *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Muller, *Diatoma vulgare*). La forma de las frústulas son predominantemente fragmentos elongados, siendo el tamaño predominante de frústulas entre los 20 - 50 μ y el porcentaje de frústulas enteras en promedio de un 30%.

Las especies determinadas en el yacimiento de Quicapata, son mayoritariamente de los géneros: *Cyclotella* sp., *Cyclotella stelligera*, *Melosira echinus*, *Melosira patagónica*, *Melosira perpusilla* (diatomeas céntricas), *Fragilaria* sp., *Cymbella* sp., *Cocconeis* sp., *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Denticula* sp. *Ephitemia zebra*, *Navicula* sp. *Rhopalodia gibba* (diatomeas pennadas con simetría bilateral). La forma de las frústulas son predominantemente alargados. El porcentaje promedio de frústulas enteras es del 90%.

Los recursos minerales medidos e indicados estimados para los yacimientos de Tambillo, Quicapata y La Moya, en la cuenca de Ayacucho son de 15 623 133 T.M. correspondiendo: Al yacimiento de Tambillo, un total de 12 133 693 T.M., constituidos en 6 266 810 T.M. de recursos medidos y 5 866 883 T.M. de recursos indicados; al yacimiento de Quicapata, 2 285 990 T.M. de recursos medidos; mientras que para el yacimiento de La Moya, el volumen total de recursos minerales medidos asciende a 1 203 451 T.M de recursos medidos.

En el país la producción de diatomita se concentra en la región Arequipa. La producción nacional para el año 2010 fue de 37 841 T.M. de diatomita natural, exportando el 44,61% del total, siendo su destino de exportación el vecino país de Chile. Para este año el precio de exportación fue de \$ 64/t.

La producción nacional (55,39% para el año 2010) se utilizó en la industria de la construcción, papel, plásticos, bebidas, aceites, etc. El mercado interno es además abastecido en parte por la diatomita importada, que en el año 2010 fue de 2163 toneladas, a un precio de \$ 324/t. entre los años 2000 al 2009 la balanza comercial para la diatomita, fue negativa, recién en el año 2010 paso a ser positiva.

RECOMENDACIONES

La producción de diatomita en la región Ayacucho no se reporta en su totalidad a los organismos estatales, por lo que en las estadísticas de producción de esta, presenta una producción baja y parcial. Por lo tanto el Estado deberá reglamentar y exigir a todos los operadores de diatomitas, reportar su producción por mínima que esta sea.

Se requiere industrializar la diatomita dándole el debido valor agregado que le permita competir en el mercado nacional con la diatomita importada. Para lo cual es impostergable la construcción de fábricas para el procesamiento de este mineral. El estado conjuntamente con los inversores privados deben analizar con seriedad y urgencia esta alternativa cuya aplicación beneficiara al país.

BIBLIOGRAFIA

Agramonte, J.; Rospigliosi C. C.; Griffo, J. L. (1979) - Proyecto de interés local del departamento de Ayacucho: reconocimiento geológico de los yacimientos no metálicos del departamento de Ayacucho. Lima: INGEMMET, 76 p.

Agramonte, J. (1978) - Estudio geológico preliminar de las diatomitas de Quicapata (Huamanga-Ayacucho), Convenio INGEMMET-ITINTEC. Lima: INGEMMET, 38 p.

Agramonte, J. (1983) - Diatomitas de Ayacucho y su paralelo con las de Tarucani y Bayovar. Sociedad Geológica del Perú. Boletín N° 72, p. 259-270.

Araníbar, R. (1977) - Estudio geológico de las diatomitas de Polobaya. Universidad Nacional de San Agustín. Programa Académico de Geología, Arequipa, 21 p.

Bustamante, J. (1998) - Geología, evaluación comparativa y cuantificación de reservas de los depósitos de diatomitas en la región de Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín. Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Arequipa, 100 p.

Cabrera la Rosa, A. (1962) - Minerales no metálicos: Diatomitas, Instituto Nacional de Investigación y Fomento Minero. Boletín. Serie Memorándum, N° 7, p. 61-107.

Chacaltana, C.; Rodríguez, R.; Cerrón, F.; Morales, M. (2004) - Tectonotema del Mioceno superior en la cuenca Ayacucho y su relación con el registro de diatomeas, Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2004, p. 432-435.

Chacaltana, C. (2001) - Diatomeas marinas del sistema Neógeno en la Cuenca Lima, margen continental peruano. Paleontología y bioestratigrafía. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, Lima: 2001, 138 p.

Díaz A. & Ramirez, J. (2009) - Compendio de Rocas y Minerales Industriales en el Perú Lima: INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica, 19, 415 p.

Donald, D. (1994) - Industrial minerals and rocks. 6 ed. Littleton, Colorado: Society for mining, metallurgy and exploration inc., 1196 p.

Dunin, E. (1996) - Recursos minerales no metálicos del Perú (primera parte: bentonita, baritina y diatomitas) Minería, año 45, N° 244, p. 4-7.

Hurd, D. C. & Birdwhistell, S. (1983) On producing a more general model for biogenic solution. Amer. J. Science 283, 1-28.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1979) - Estudio geotécnico para la seguridad física de la ciudad de Ayacucho. Lima: INGEMMET, 24 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003) - Estudio de recursos minerales del Perú, Franja N° 3. Lima: INGEMMET. Boletín. N° 12 Serie B: Geología Económica, 421 p.

Juggins, S. (1992) Diatoms in th Thames Estuary, England: Ecology, palaeoecology, and salinity transfer function. Bibl. Diatom. 25. 216 pp.

Lewin, J. (1961) The dissolution of silica from diatom walls. Geochim. Cosmochim. Acta 21, 182-198.

Lorenz, W. y Gwosdz, W. (2004) - Manual para la evaluación geológica-técnica de recursos minerales de construcción. Hannover: Schweizerbart'sche, 500 p.

Marocco R.; Lipa, V.; Quispe, L. (1996) - Geología del cuadrángulo de San Miguel. Lima: INGEMMET. Boletín N°83, Serie A: Carta Geológica Nacional, 131 p.

Marshall, W. L. (1980) Amorphous silica solubilities. I Behaviour in aqueous sodium nitrate solutions; 25-30°C, 0,6 molal. 3 Activity coefficient relations of solubility behaviour in salt solutions 0-350°C. Geochim. Cosmochim. Acta 44, 907-913, 925-931.

Mégar, F.; Noble, D.; Mckee, E.; Bellon, H. (1984) - Multiple pulses of neogene compressive deformation in the Ayacucho intermontane basin, Andes of central Peru. Geological Society of America Bulletin, vol. 95, n. 9, p. 1108-1117.

Morche W.; Albán, C.; De la Cruz, J.; Cerrón, F. (1995) - Geología del cuadrángulo de Ayacucho. Lima: INGEMMET. Boletín N°61, Serie A: Carta Geológica Nacional, 120 p.

Naranjo, I. (1994) - Evaluación técnica y económica del yacimiento de diatomitas de Quicapata (Ayacucho), Lima, 86 p.

Ramirez, J. (1978) – Estudio paleontológico de dos muestras de diatomita del yacimiento de Quicapata (Ayacucho). Lima: INGEOMIN, 15 p.

Rippey, B. (1983) A laboratory study of silicon CAD. LAB. XEOL. LAXE 23 (1998) Preservación de diatomeas 235 release processes from a lake sediment (Lough Neagh, Northern Ireland). Arch. Hydrobiol. 96, 417-433

Rodríguez, R.; Chacaltana, C. (2003) - Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ), Escala 1:50 000. Lima: INGEMMET, 22 p.

Round, E.; Crawford, M.; Mann, G. The diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press, 747 p.

Saavedra, J. (1976) - Estudio y evaluación de las diatomitas en el Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Programa Académico de Geología e Ingeniería Geológica Lima, 86 p.

Salazar, S. (1991) - Tratamiento de las diatomitas de Bayóvar para uso como material filtrante y blanqueador de aceites comestibles. Universidad de Piura. Programa Académico de Ingeniería Industrial. Piura, 101 p.

Sancetta, A. (1985-1986) - Catalogue of diatoms, New York: American Museum of Natural History, 3 tomos, Ellis and Messina Catalogues of Micropaleontology.

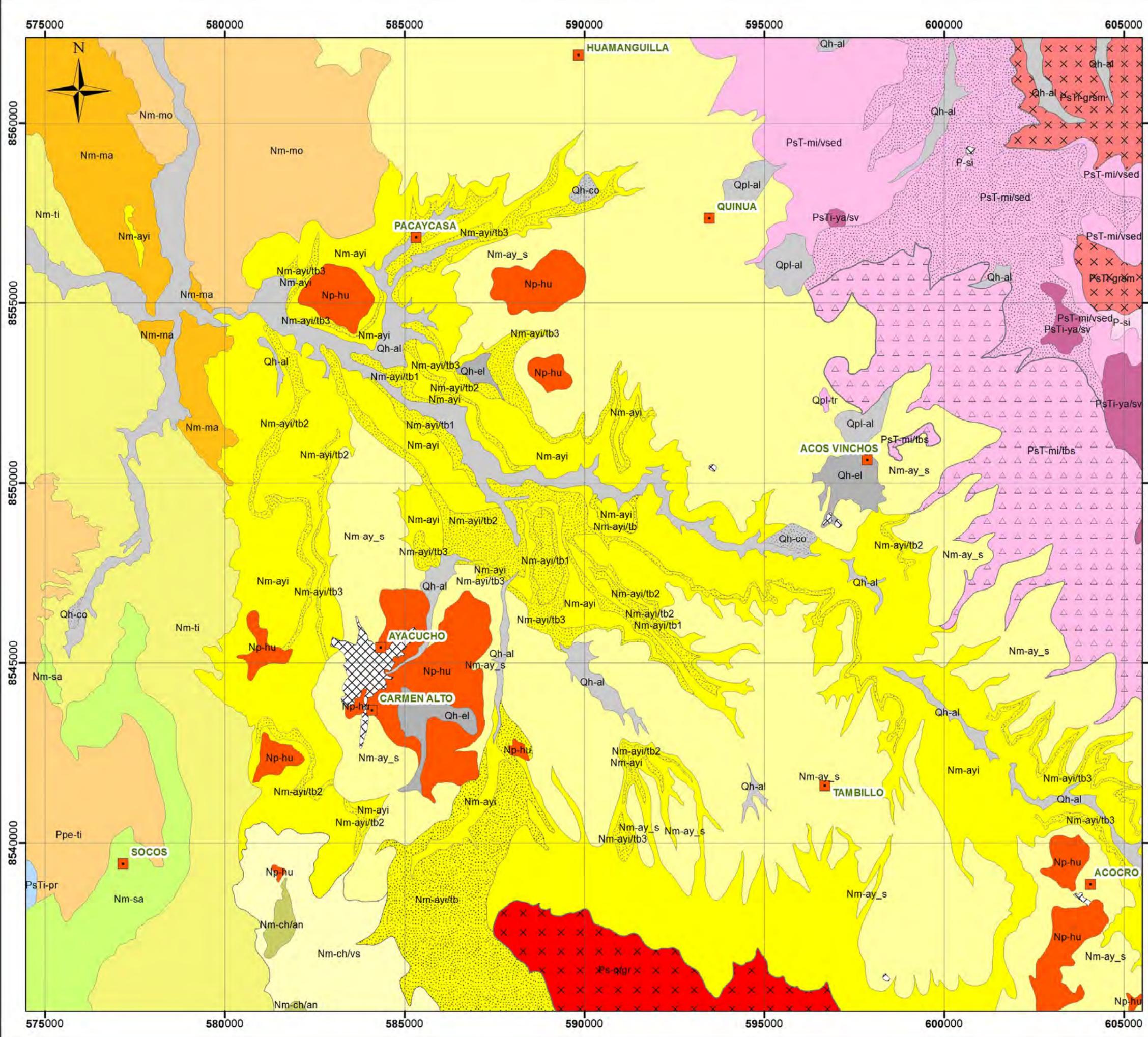
Schrader, H. J. (1971) Fecal pellets: role in sedimentation of pelagic diatoms. Science, 174, 55-57.

Verdeja, L.; Vásquez, E.; Barranzuela, J. (1993) - Materias primas minerales no metálicas: las diatomitas en el Perú. *Minería*, N° 220-221, Febrero 1993, p. 8-17.

Wise, J.; Noble, D.; Zanetti, K.; Spell, T. (2008) - Quechua II contraction in the Ayacucho intermontane basin: Evidence for rapid and episodic Neogene deformation in the Andes of central Perú. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 26, n. 4, p. 383-396.

ANEXOS

ANEXO I



LEYENDA

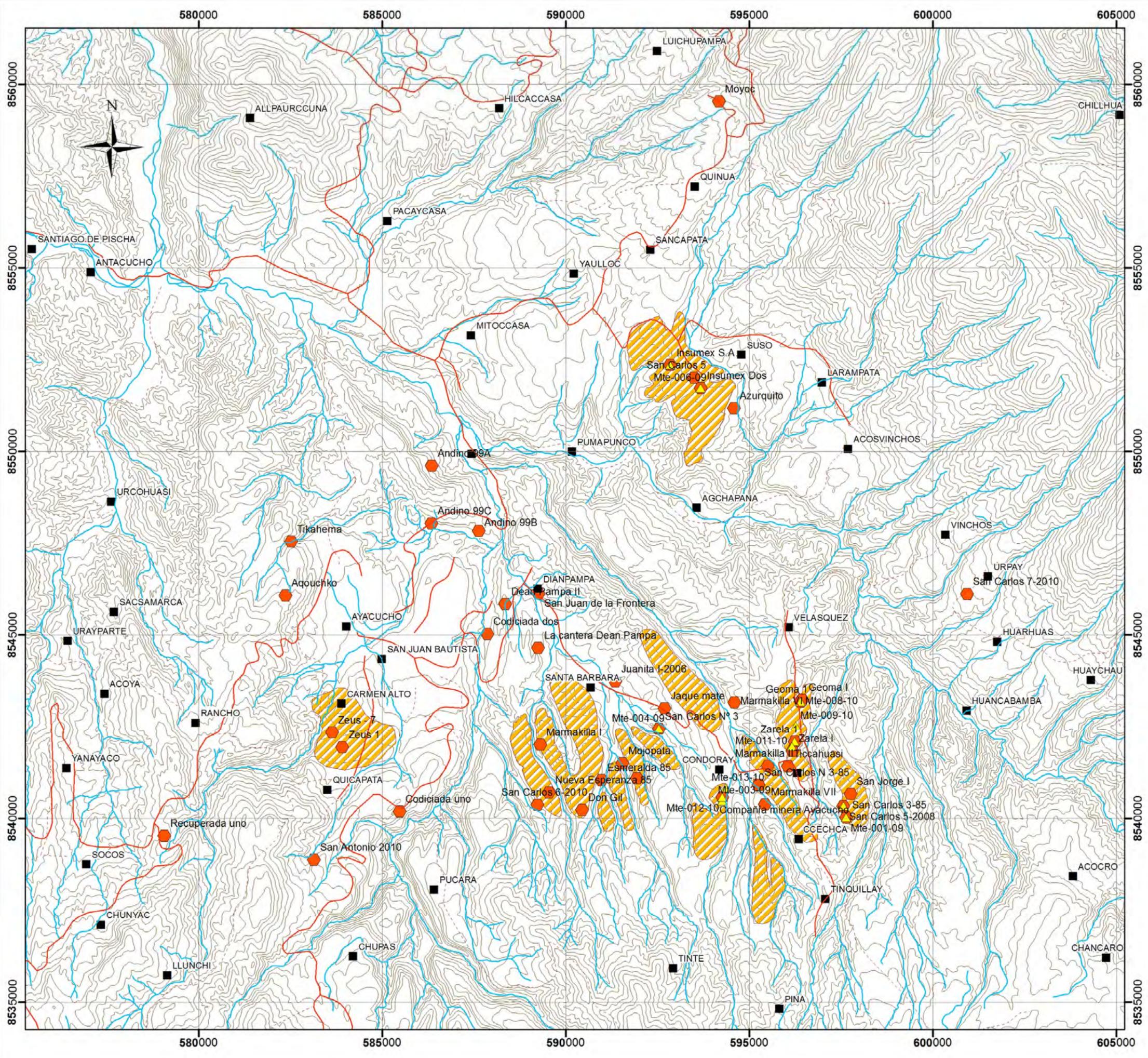
UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

PLEISTOCENO	Qpl-co	Depósitos Coluviales
	Qh-el	Depósitos eluviales
	Qpl-al	Depósitos aluviales
PLIOCENO	Np-hu	Formación Huari
	Nm-ch	Formación Chaupi Orcco
MIOCENO	Nm-ay_s	Formación Ayacucho Miembro Superior Diatomitas Tambillo, La Moya y Quicapata
	Nm-ay	Formación Ayacucho Miembro Inferior, tobas
	Nm-ay_s	Formación Ayacucho Miembro Inferior, sed
	Nm-mo	Formación Molinayoc
	Nm-ti	Formación Huanta Miembro Tingrayoc
	Nm-ma	Formación Huanta Miembro Mayoc
OLIGOCENO	Np-sa	Formación Sapanuta
	Ppe-ti	Formación Ticllas
PERMO-TRIÁSICO	PsT-mi/sed	Grupo Mitu Miembro sedimentario
	PsT-mi/tbs	Grupo Mitu Miembro ignimbrítico
	PsT-mi/v	Grupo Mitu Miembro lávico
PERMO-TRIÁSICO	PsT-ya/sv	Subvolcánico Yanacochoa
	PsT-grsm	Granito San Miguel
	PsT-gr	Granito Querobamba

SIMBOLOGÍA

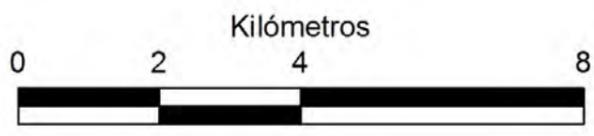
Pueblos

Escala: Gráfica	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FIGMM ESCUELA PROFESIONAL DE GEOLOGÍA	PLANO GEOLOGICO	PLANO 1
Fecha: Julio-2011 Dibujado por: J. Ramirez			



SIMBOLOGÍA

-  Yacimientos de diatomita
-  Ubicación de muestras
-  Canteras y concesiones
-  Centros poblados
-  Carretera asfaltada
-  Carretera afirmada
-  Drenaje



Escala: Gráfica	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FIGMM ESCUELA PROFESIONAL DE GEOLOGÍA	
Fecha: Julio-2011	PLANO DE YACIMIENTOS Y UBICACIÓN DE MUESTRAS	
Dibujado por: J. Ramirez	PLANO 2	

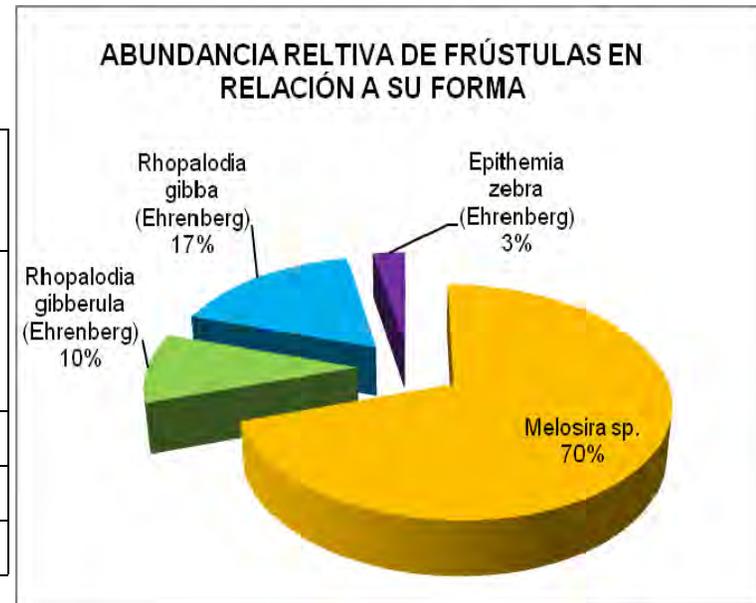
ANEXO II

Anexo II: Resultados de los estudios micropaleontológicos

Muestra Mte-002-09

ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU FORMA

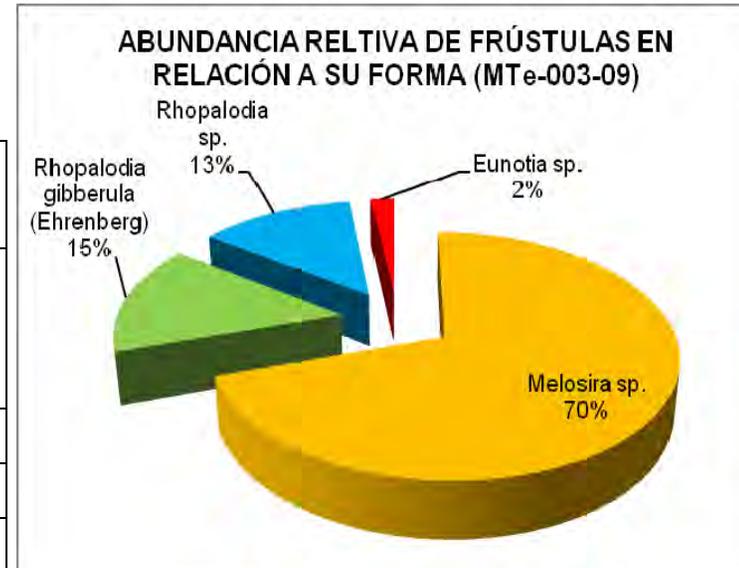
FORMA DE LAS FRÚSTULAS	ESPECIMENES	Total de frústulas (%)
Orden centrales (simetría radial; formas circulares, biangulares, triangulares o poligonales)	Melosira sp.	70%
Orden pennaes(simetría bilateral y formas alargadas)	Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O. Muller	10%
	Rhopalodia gibba (Ehrenberg) O. Muller	17%
	Epithemia zebra (Ehrenberg) kutzing	3%



Muestra Mte-003-09

ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU FORMA

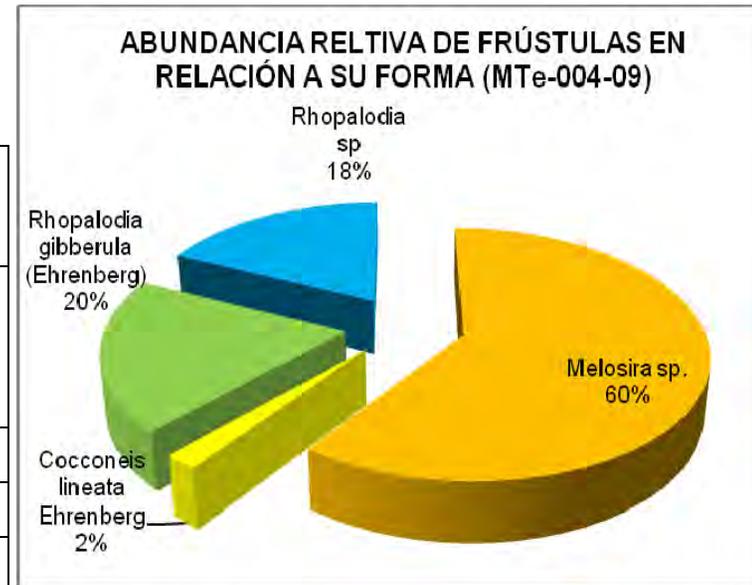
FORMA DE LAS FRÚSTULAS	ESPECIMENES	Total de frústulas (%)
Orden centrales (simetría radial; formas circulares, biangulares, triangulares o poligonales)	Melosira sp.	70%
Orden pennaes (simetría bilateral y formas alargadas)	Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O. Muller	15%
	Rhopalodia sp.	13%
	Eunotia sp.	2%



Muestra Mte-004-09

ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU FORMA

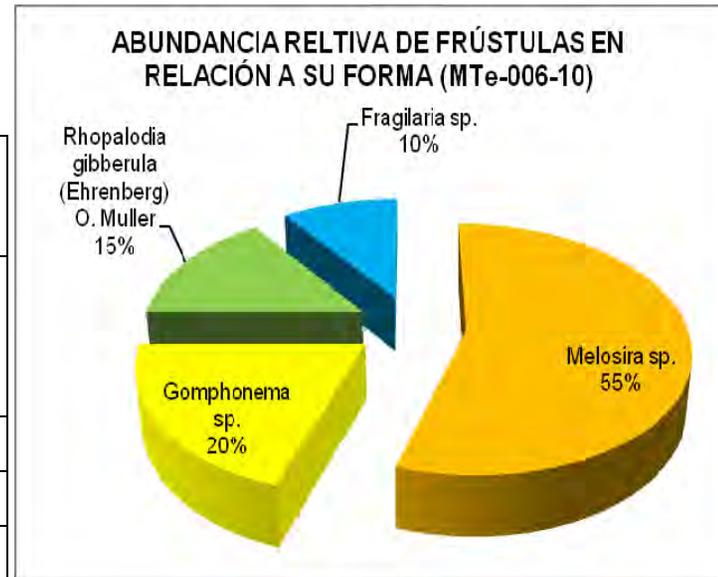
FORMA DE LAS FRÚSTULAS	ESPECIMENES	Total de frústulas (%)
Orden centrales (simetría radial; formas circulares, biangulares, triangulares o poligonales)	Melosira sp.	60%
	Cocconeis lineata Ehrenberg	2%
Orden pennaes (simetría bilateral y formas alargadas)	Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O. Muller	20%
	Rhopalodia	18%



Muestra Mte-006-09

ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU FORMA

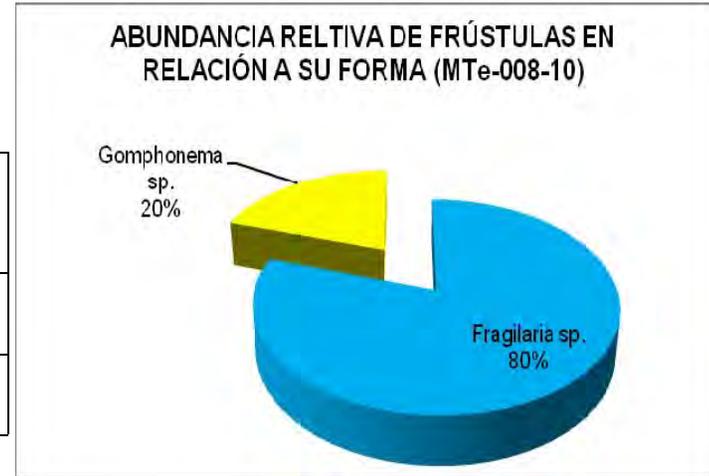
FORMA DE LAS FRÚSTULAS	ESPECIMENES	Total de frústulas (%)
Orden centrales (simetría radial; formas circulares, biangulares, triangulares o poligonales)	Melosira sp.	55%
Orden pennaes (simetría bilateral y formas alargadas)	Gomphonema sp.	20%
	Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O. Muller	15%
	Fragilaria sp.	10%



Muestra Mte-008-10

ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU FORMA

FORMA DE LAS FRÚSTULAS	ESPECIMENES	Total de frústulas (%)
Orden pennaes (simetría bilateral y formas alargadas)	Fragilaria sp.	80%
	Gomphonema sp.	20%

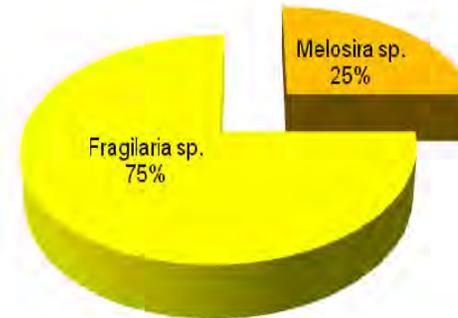


Muestra Mte-010-10

ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU FORMA

FORMA DE LAS FRÚSTULAS	ESPECIMENES	Total de frústulas (%)
Orden centrales (simetría radial; formas circulares, biangulares, triangulares o poligonales)	Melosira sp.	25%
Orden pennaes (simetría bilateral y formas alargadas)	Fragilaria sp.	75%

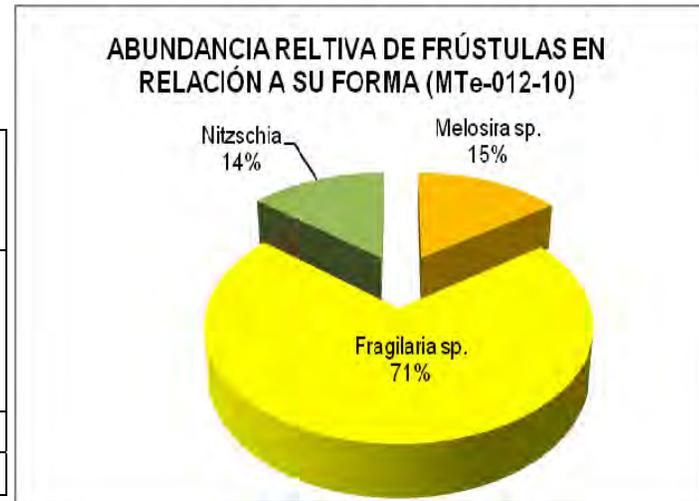
ABUNDANCIA RELATIVA DE FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU FORMA (MTe-010-10)



Muestra Mte-012-10

ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FRÚSTULAS EN RELACIÓN A SU FORMA

FORMA DE LAS FRÚSTULAS	ESPECIMENES	Total de frústulas (%)
Orden centrales (simetría radial; formas circulares, biangulares, triangulares o poligonales)	Melosira sp.	15%
Orden pennaes (simetría bilateral y formas alargadas)	Fragilaria sp.	71%
	Nitzschia	14%



Muestra: MTe-006-09

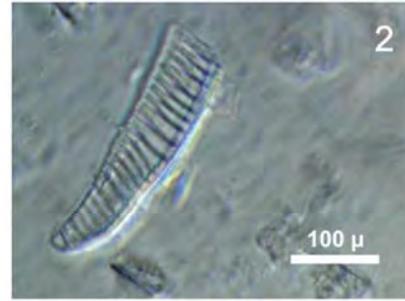


Foto 1.- Vista de diatomeas fragmentadas. Foto 2.- Vista fragmentada de *Rhopalodia guibberula* (Ehrenberg) o Müller. Foto 3.- Vista conectiva muy bien conservada de *Melosira* sp.

Muestra: MTe-008-10



Foto 1.- Vista de diatomeas no muy bien conservadas entre ellas tenemos a *Fragilaria* sp. Foto 2.- Vista que muestra la buena conservación de *Gomphonema* sp.

Muestra: MTe-010-10

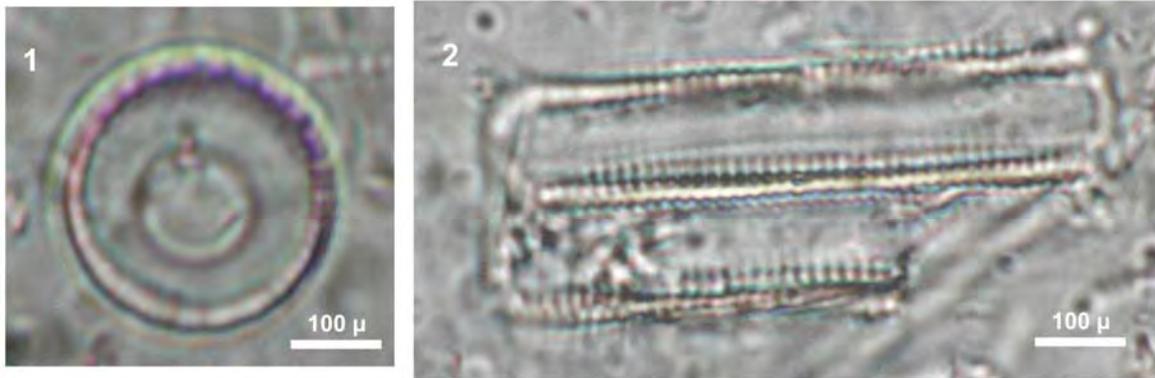


Foto 1.- Buena conservación de *Melosira* sp. Foto 2.- Vista valvar de *Fragilaria* sp. la cual no presenta una buena conservación.

Muestra: MTe-012-10



Foto 1.- Vista de diatomeas bastante fragmentadas acompañadas de *Fragilaria* sp. Foto 2.- a. Forma acicular que corresponde a espícula de esponja acompañada de *Fragilaria* sp. Foto 3.- Vista mostrando diatomeas fragmentadas con valvas mejores preservadas de *Melosira* sp.

ANEXO III

Anexo III: Resultados de análisis químicos

Informe de ensayo No. 93938L/10-GEO

Métodos Analíticos ICP-AES: ISP-106; LOI : ISP-219

	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106
Sample	Al ₂ O ₃	Ba	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂
Description	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion
	%	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Mte-008-10	3.1	193	0.71	0.009	1.32	0.53	0.52	0.006	0.31	0.033	93.05
Mte-011-10	1.99	102	0.39	0.007	0.64	0.28	0.25	0.002	0.21	0.008	86.61
Mte-012-10	2.8	196	0.59	0.007	1.99	0.51	0.76	0.004	0.25	0.018	94.49
Mte-013-10	2.89	117	1.13	0.008	1.26	0.31	0.94	0.005	0.25	0.013	93.05

	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-106	ISP-219
Sample	Nb	Sr	TiO ₂	Y	Zn	Zr	LOI
Description	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	ICP-fusion	GRAV
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
Mte-008-10	<10	114	0.15	4.9	33	41	8.85
Mte-011-10	<10	68	0.1	-3	25	34	7.4
Mte-012-10	<10	95	0.16	3.6	35	59	9.16
Mte-013-10	<10	71	0.14	3.5	31	34	10.61

Informe de ensayo No. 119855L/09-GEO

Análisis multielemental por fusión de metaborato de litio. ICP AES

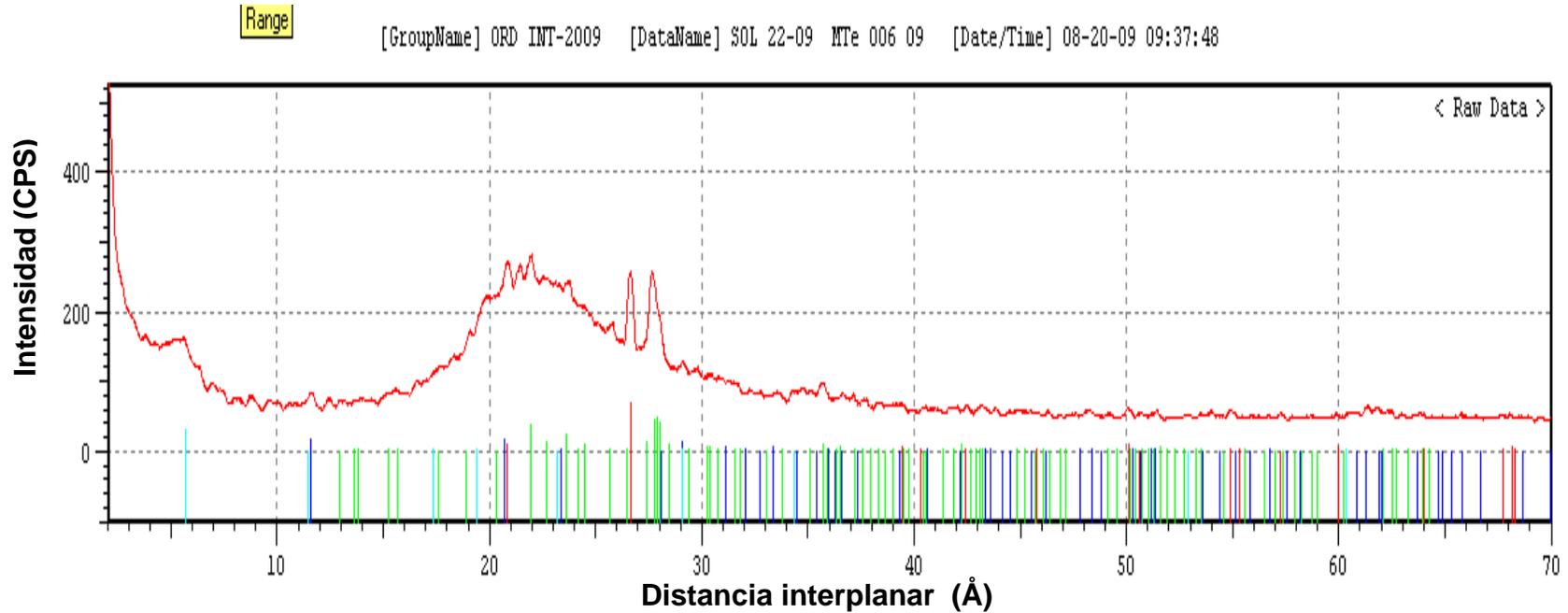
Sample	Al ₂ O ₃	Ba	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂
Unidad	%	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Limite Detec.	0.01	10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Limite Superior	75	100000	60	10	75	25	30	10	30	25	90
Mte-001-09	3.49	256	0.54	<0.01	1.23	0.43	0.42	0.03	0.28	0.05	84.2
Mte-006-09	7.01	345	1.61	<0.01	2.07	1.45	0.82	0.03	0.88	0.08	74.32
Mte-007-09	10.98	395	1.24	<0.01	1.46	4.89	0.83	0.06	1.58	0.07	69.63

Sample	Nb	Sr	TiO ₂	Y	Zn	Zr	LOI
Unidad	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
Limite Detec.	10	10	0.01	10	5	10	0.2
Limite Superior	100000	100000	25	100000	10000	100000	
Mte-001-10	<10	109	0.17	<10	24	46	7.6
Mte-006-10	10	177	0.33	<10	49	104	10.0
Mte-007-10	13	158	0.25	13	61	116	8.0

ANEXO IV

Anexo IV: Difractogramas de rayos X

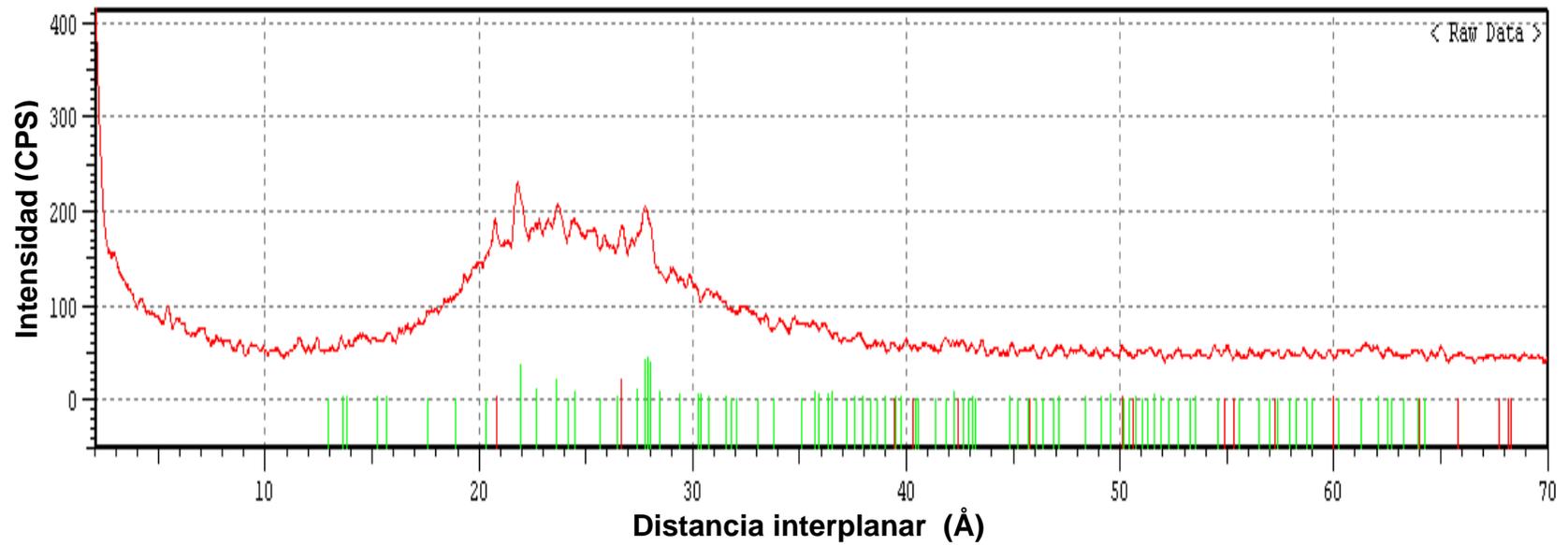
Muestra MTe 006-09



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name
1	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz
2	20-0528	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Sodium Calcium Aluminum Si	Anorthite
3	33-0311	CaSO ₄ .2H ₂ O	Calcium Sulfate Hydrate	Gypsum
4	29-1491	Ca _{0.2} Mg ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (Calcium Magnesium Aluminum	Saponite-15A

Muestra MTe 007-09

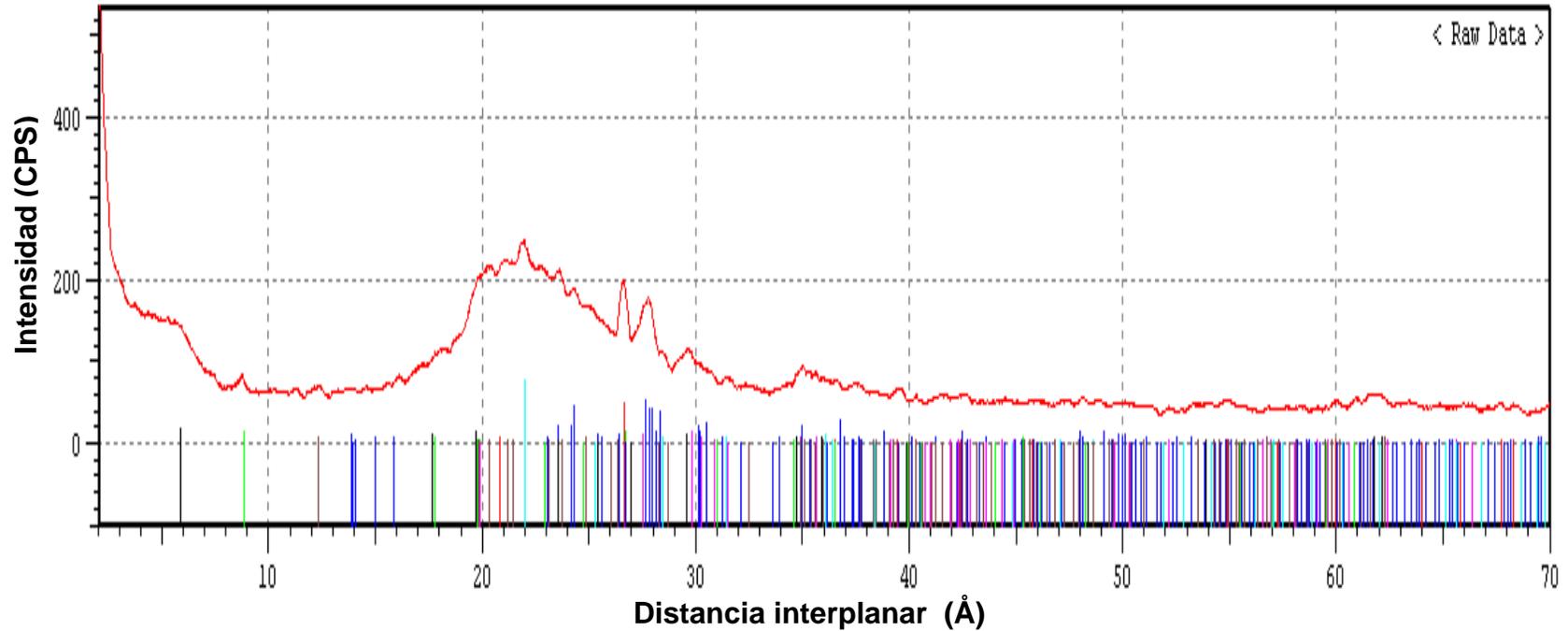
[GroupName] ORD INT-2009 [DataName] SOL 22-09 MTe 007 09 [Date/Time] 08-20-09 10:15:01



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name
1	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz
2	20-0528	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Sodium Calcium Aluminum Si	Anorthite

Muestra MTe 008-10

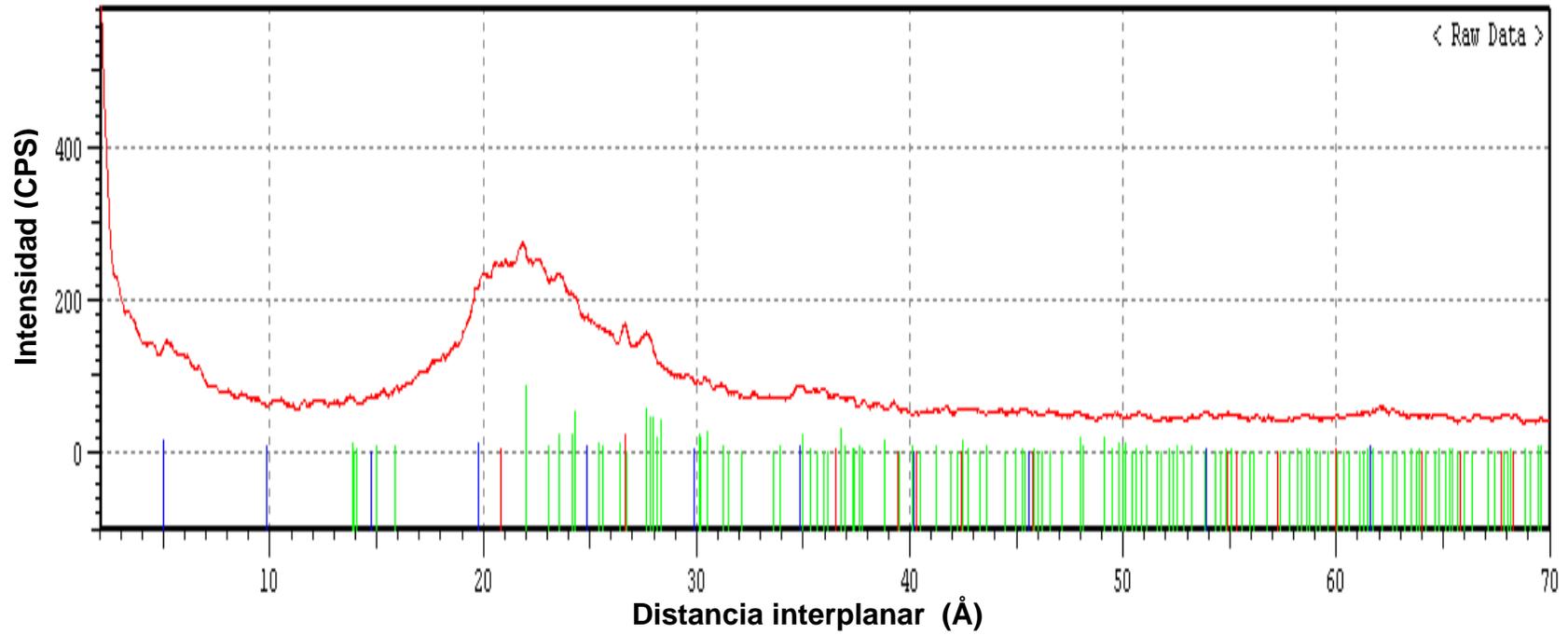
[GroupName] ORD INT-2010 [DataName] SOL 021-10 MTe 008 10 [Date/Time] 08-26-10 09:14:06



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name
1	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz
2	7-0042	(K,Na)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si	Potassium Aluminum Silicat	Muscovite-3\ITT\
3	19-1184	NaAlSi ₃ O ₈	Sodium Aluminum Silicate	Albite
4	24-0203	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆	Calcium Iron Magnesium Sil	Augite
5	39-1425	SiO ₂	Silicon Oxide	Cristobalite
6	13-0135	Ca _{0.2} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (Calcium Magnesium Aluminum	Montmorillonite-
7	14-0164	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Aluminum Silicate Hydroxid	Kaolinite-1\ITA\

Muestra MTe 011-10

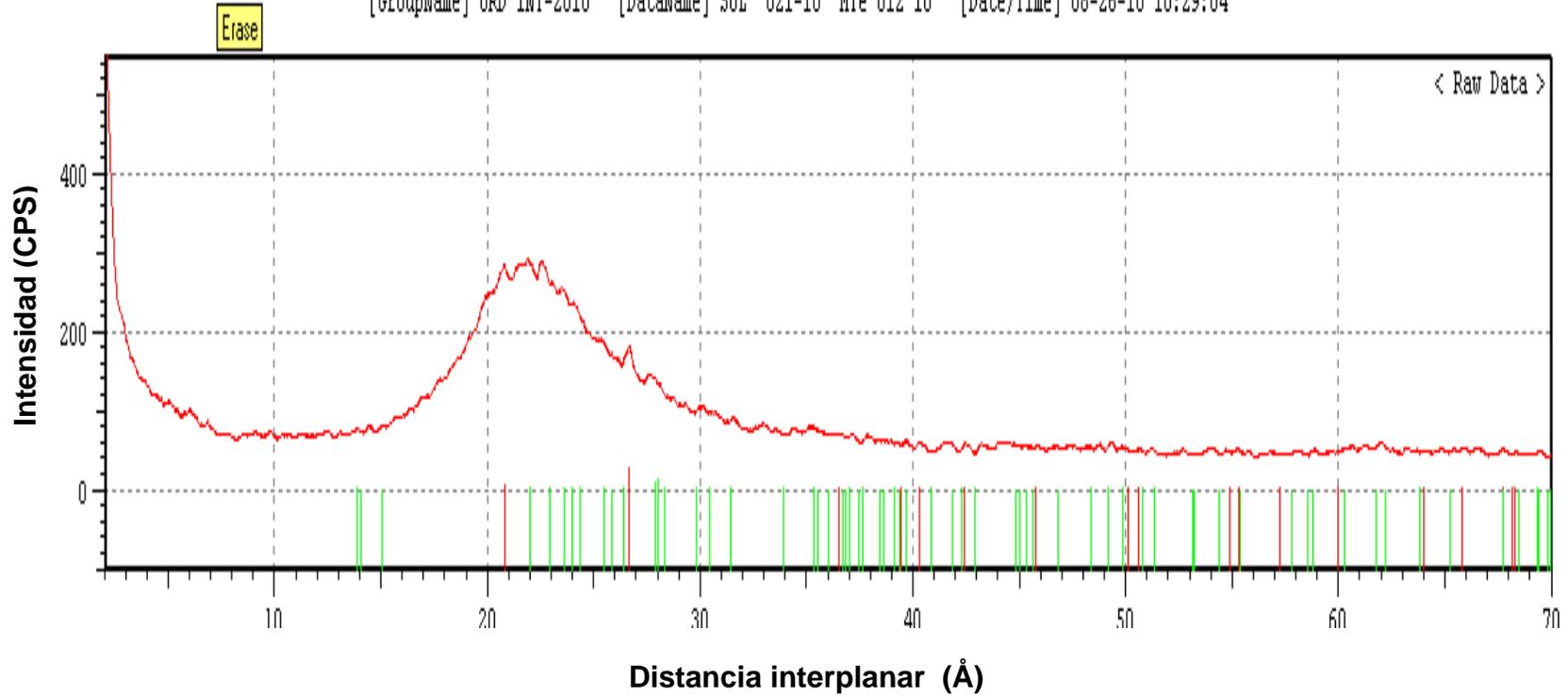
[GroupName] ORD INT-2010 [DataName] SOL 021-10 MTe 011 10 [Date/Time] 08-26-10 09:51:47



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name
1	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz
2	19-1184	NaAlSi ₃ O ₈	Sodium Aluminum Silicate	Albite
3	12-0219	Na _{0.3} (AlMg) ₂ Si ₄ O ₁₀ H	Sodium Magnesium Aluminum	Montmorillonite-

Muestra MTe 012-10

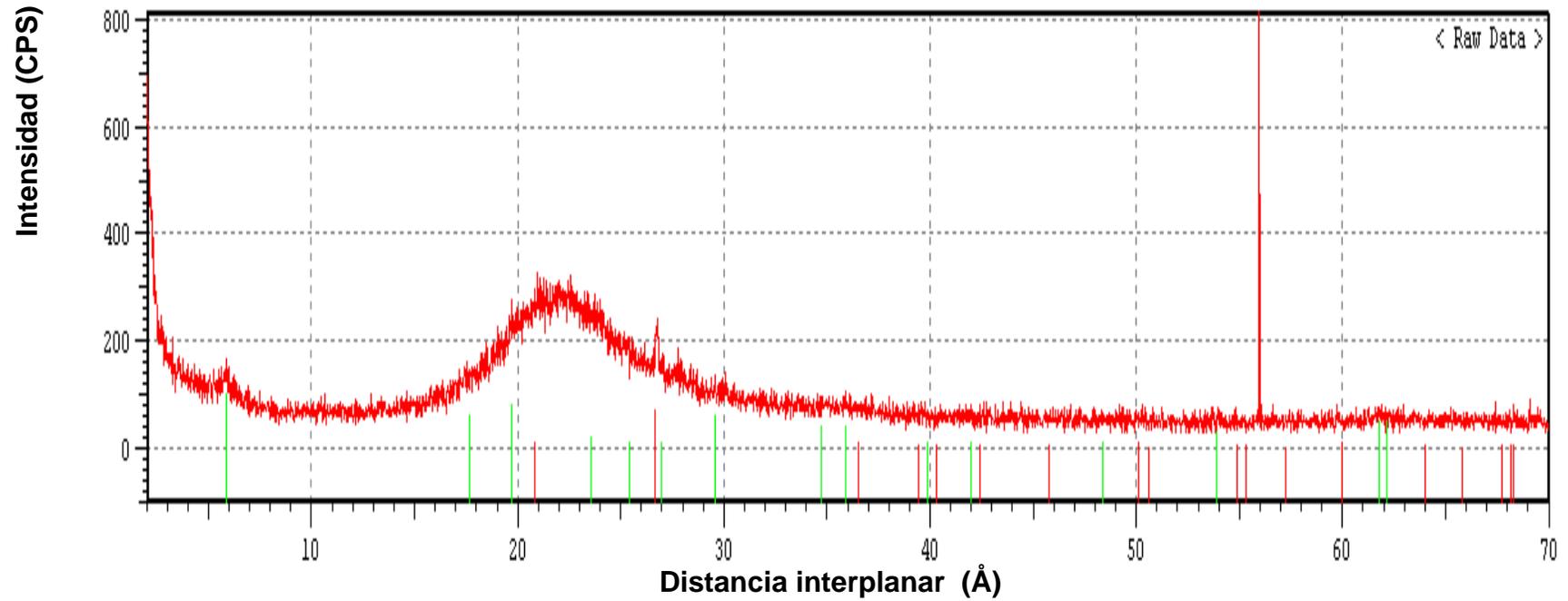
[GroupName] ORD INT-2010 [DataName] SOL 021-10 MTe 012 10 [Date/Time] 08-26-10 10:29:04



No Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name
1:46-1045	SiO2	Silicon Oxide	Quartz
2:41-1480	(Na,Ca)Al(Si,Al)3O8	Sodium Calcium Aluminum Si	Albite

Muestra MTe 013-10

[GroupName] ORD INT-2010 [DataName] SOL 021-10 MTe 013 10 [Date/Time] 08-26-10 12:23:15



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name
1	46-1045	SiO2	Silicon Oxide	Quartz
2	13-0135	Ca0.2(Al,Mg)2Si4O10{	Calcium Magnesium Aluminum	Montmorillonite-

ANEXO V

ANEXO V: RELACIÓN DE CANTERAS Y CONCESIONES MINERAS

N°	NOMBRE	REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO	HOJA	NORTE	ESTE	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	EDAD GEOLÓGICA	TITULAR
1	San Pedrano	Ayacucho	Huamanga	Acocro	27-ñ	8530888	604514	Formación Ayacucho	Nm-ay	
2	San Antonio N° 2	Ayacucho	Huamanga	Acocro	27-ñ	8529256	606507	Formación Ayacucho	Nm-ay	
4	Zeus - 7	Ayacucho	Huamanga	Carmen Alto	27-ñ	8542341	583635	Formación Ayacucho	Nm-ay	
5	Zeus 1	Ayacucho	Huamanga	Carmen Alto	27-ñ	8541930	583915	Formación Ayacucho	Nm-ay	
6	San Carlos 5	Ayacucho	Huamanga	Quinua	27-ñ	8552000	593500	Formación Ayacucho	Nm-ay	Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A.
8	Moyoc	Ayacucho	Huamanga	Quinua	27-ñ	8559538	594180	Formación Ayacucho	Nm-ay	
10	San Carlos N° 3	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8542436	592540	Formación Ayacucho	Nm-ay	
11	Mojopata	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8541498	591550	Formación Ayacucho	Nm-ay	
12	Ticcahuasi	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8541412	596058	Formación Ayacucho	Nm-ay	
13	Esmeralda 85	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8541034	590979	Formación Ayacucho	Nm-ay	
14	Nueva Esperanza 85	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8540704	589543	Formación Ayacucho	Nm-ay	
15	San Jorge I	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8540656	597770	Formación Ayacucho	Nm-ay	
16	Geoma 1	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8543176	596406	Formación Ayacucho	Nm-ay	S. M. R. L. Zarela I
17	Zarela 1	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8542083	596239	Formación Ayacucho	Nm-ay	S. M. R. L. Zarela I
18	Compañía minera Ayacucho	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8540569	594269	Formación Ayacucho	Nm-ay	Martin Ruben Dolorier Correa
19	Villa Rica I-88	Ayacucho	Huamanga	Vinchos	27-ñ	8526830	568703	Volcánico Atunsulla	Np-at	
20	Villarica I	Ayacucho	Huamanga	Vinchos	27-ñ	8526324	568932	Volcánico Atunsulla	Np-at	
21	Puyhuanhuayjo	Ayacucho	Huanca Sancos	Sancos	28-ñ	8464786	568621	Volcánico Sencca	Np-se	
22	Azurquito	Ayacucho	Huamanga	Quinua	27-ñ	8551169	594587	Formación Ayacucho	Nm-ay	Ricardo Javier Bernal Tello
23	Andino 99A	Ayacucho	Huamanga	Jesus Nazareno	27-ñ	8549603	586356	Formación Ayacucho	Nm-ay	Absalon Juscamaita Infante
24	Andino 99B	Ayacucho	Huamanga	Jesus Nazareno	27-ñ	8547840	587630	Formación Ayacucho	Nm-ay	Absalon Juscamaita Infante
25	Andino 99C	Ayacucho	Huamanga	Jesus Nazareno	27-ñ	8548044	586344	Formación Ayacucho	Nm-ay	Absalon Juscamaita Infante
26	Tikahema	Ayacucho	Huamanga	Ayacucho	27-ñ	8547544	582519	Formación Ayacucho	Nm-ay	Guido Ernesto Lahud Ordoñez
27	Aqouchko	Ayacucho	Huamanga	Ayacucho	27-ñ	8546071	582366	Formación Ayacucho	Nm-ay	Marino Huayhua Quispe
28	San Antonio 2010	Ayacucho	Huamanga	Carmen Alto	27-ñ	8538868	583145	Formación Ayacucho	Nm-ay	Prime Maquinarias S.A.C.
29	Codiciada uno	Ayacucho	Huamanga	Chiara	27-ñ	8540187	585474	Formación Ayacucho	Nm-ay	Juan Quicaña Vilcatoma
30	Recuperada uno	Ayacucho	Huamanga	Socos	27-ñ	8539518	579069	Formación Ayacucho	Nm-ay	Marino Huayhua Quispe
31	Dean Pampa II	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8545834	588353	Formación Ayacucho	Nm-ay	Don Vicente S.A.C.
32	San Juan de la Frontera	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8546122	589263	Formación Ayacucho	Nm-ay	America inversiones S.A.C.
33	Codiciada dos	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8545025	587865	Formación Ayacucho	Nm-ay	Marino Huayhua Quispe
34	La cantera Dean Pampa	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8544645	589255	Formación Ayacucho	Nm-ay	Don Vicente S.A.C.
35	Juanita I-2006	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8543725	591350	Formación Ayacucho	Nm-ay	Wilson Richard de la Cruz Prado
36	Jaque mate	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8542995	592699	Formación Ayacucho	Nm-ay	Alberto Javier Angulo Acevedo
37	Marmakilla VI	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8543165	594600	Formación Ayacucho	Nm-ay	Insumos no metálicos y químicos de exportación e importación
40	Marmakilla II	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8541425	595515	Formación Ayacucho	Nm-ay	Edgardo Rodolfo Bernal Tello
41	Karinne dos mil siete	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8541090	591940	Formación Ayacucho	Nm-ay	Henry Lelouch Kohen
42	Marmakilla VII	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8540375	595430	Formación Ayacucho	Nm-ay	Insumos no metálicos y químicos de exportación e importación
43	San Carlos N 3-85	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8540900	595260	Formación Ayacucho	Nm-ay	Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A.
44	San Carlos 5-2008	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8540320	597570	Formación Ayacucho	Nm-ay	Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A.
46	Don Gil	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8540225	590445	Formación Ayacucho	Nm-ay	Minera Don Gil S.A.C.
47	Marmakilla I	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8542000	589310	Formación Ayacucho	Nm-ay	Apolonio Bravo Orbezo
48	San Carlos 6-2010	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	27-ñ	8540365	589230	Formación Ayacucho	Nm-ay	Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A.
49	San Carlos 7-2010	Ayacucho	Huamanga	Acos Vinchos	27-ñ	8546110	600945	Formación Ayacucho	Nm-ay	Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A.