



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

**Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano
(Loja - Ecuador)**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Autor: Tello Robles, Víctor Leonardo

Director: Guartán Medina, José Arturo, Ing.

Loja - Ecuador

2013

CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

José Arturo Guartán Medina

DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Que el presente trabajo, denominado “Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)” realizado por el profesional en formación: Víctor Leonardo Tello Robles; cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, Julio de 2013

f).....

CESIÓN DE DERECHOS

Yo Víctor Leonardo Tello Robles declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f).....

Autor: Tello Robles, Víctor Leonardo

Cédula: 1103859326

DEDICATORIA

A mis padres, hermanas y abuelos,
en especial a mi Papi Víctor.

AGRADECIMIENTO

A mi director de tesis, Ing. José A. Guartán Medina
y todos quienes me brindaron su ayuda.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	4
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO 1	
ASPECTOS GENERALES, METODOLOGÍA DE CAMPO E INTRODUCCIÓN A LAS DIATOMITAS Y DIATOMEAS	6
1.1 ASPECTOS GENERALES.....	7
1.1.1 ACCESO.....	7
1.1.2 HIDROGRAFÍA	7
a) Río Malacatos.	8
b) Río Zamora Huayco.	8
c) Río Jipiro.	8
d) Río Zamora.	8
1.2 METODOLOGÍA DE CAMPO	9
1.2.1 Reconocimiento previo	9
1.2.2 Geología	9
1.2.3 Mapeo y muestro (manejo, etiquetado)	10
1.2.4 Equipo utilizado	10
1.2.5 Trabajo de gabinete y laboratorio	10
a) Trabajos de gabinete.....	10
b) Propiedades y características físicas químicas y mineralógicas.....	11
1.3 INTRODUCCIÓN A LAS DIATOMITAS Y DIATOMEAS	11
1.3.1 Definición y características.....	11
1.3.2 Botánica de las diatomitas.....	12
1.3.3 Geología de las diatomitas	13
a) Hábitat y ambientes de depositación	13
b) Procesos post-deposicionales (litificación y diagénesis).....	14

c) Distribución temporal.....	15
CAPÍTULO 2	
GEOLOGÍA DE LA CUENCA DE LOJA.....	17
2.1 TECTÓNICA REGIONAL.....	18
2.2 ESTRUCTURA.....	18
2.2.1 Formaciones geológicas del área de estudio.....	21
a) Unidad chiguinda (paleozoico).....	21
b) Formación san cayetano (mioceno medio – superior).....	21
c) Formación quillollaco (mioceno tardío).....	23
2.3 GEOLOGÍA DE LAS DIATOMITAS SAN CAYETANO.....	23
2.3.1 Miembro Medio limolitas.....	24
CAPÍTULO 3	
PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS ...	33
3.1 PROCESO DE CARACTERIZACIÓN.....	34
3.2 EXAMEN MICROSCÓPICO.....	35
3.3 DENSIDAD.....	39
3.4 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA.....	40
3.5 POROSIDAD.....	40
3.6 CONTENIDO DE ARENA.....	41
3.7 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL.....	41
3.8 PÉRDIDA POR CALCINACIÓN.....	41
3.9 CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA.....	42
3.10 COLOR.....	42
3.11 CARACTERIZACIÓN.....	43
3.11.1 Química.....	43
3.11.2 Mineralógica.....	44
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS.....	55

RESUMEN

En esta investigación se realizó la caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano, mediante el estudio de sus propiedades y características físicas, químicas y mineralógicas usando técnicas de análisis como fluorescencia de rayos X, microscopía óptica y ensayos de laboratorio; de acuerdo a los estándares establecidos para estas rocas se llegó a determinar la composición química con un contenido de bajo de sílice, y valores elevados de óxidos de hierro y aluminio. Las fases mineralógicas determinadas son cuarzo, moscovita, ortoclasa, berlinita, grupo caolinita, grupo plagioclasas y grupo esmectita; el análisis micropaleontológico demostró que las muestras contienen además de diatomeas una gran cantidad de fósiles de espículas silíceas de esponjas; esto asociado al hecho que la distribución espacial de las mismas no se presenta de forma regular ni en grandes cantidades determinando así que las diatomitas estudiadas pertenecen a un material de calidad baja.

Palabras claves: caracterización, diatomitas, diatomeas, San Cayetano, sílice.

ABSTRACT

In this research the characterization of diatomites of San Cayetano's Formation was made, through the studies of their physic, chemical and mineralogical characteristics and properties, using technics as X-ray fluorescence, optical microscopy and laboratory tests; according to the established standards for these rocks it was determined a low silica content and high levels of iron and aluminum oxides. The specific mineral phases are quartz, muscovite, orthoclase, berlinite, kaolinite, smectite group and plagioclase group; Micropalaeontological analysis showed that the samples also contain a large amount of diatom fossil sponges and siliceous spicules, that associated with the fact that their spatial distribution does not occur regularly or in large amounts determining that the studied diatomites belong to a low quality material.

Key words: characterization, diatomites, diatom, San Cayetano. silica

INTRODUCCIÓN

El estudio actual denominado “Caracterización de las Diatomitas de la Formación San Cayetano, Loja-Ecuador”, nace de la imperiosa necesidad de realizar un estudio profundo de las diatomitas de dicha formación, con la finalidad de determinar sus propiedades y características físicas, químicas mineralógicas.

Este trabajo se encuentra dividido en tres capítulos. El primero denominado “Aspectos generales; metodología de campo e introducción a las diatomitas y diatomeas” tiene como finalidad dar a conocer aspectos generales de la ubicación e hidrografía del área de estudio; describir los métodos y parámetros usados mediante los cuales se realizó el mapeo geológico, el sistema de muestreo bajo el cual se ejecutó la recolección de las muestras, el equipo de campo y laboratorio usado en este estudio, como parte final da una definición y explica algunas de las características de la botánica y aspectos geológicos de estas rocas

En el capítulo dos “Geología de la zona de estudio” se explica los aspectos geológicos del área de interés, comprende la tectónica regional, estructura, estratigrafía, formaciones que componen el área de influencia y una descripción detallada de la geología del Miembro medio de la Formación San Cayetano.

El último capítulo “Propiedades y Características físicas, químicas y mineralógicas, se centra en los resultados de los análisis de laboratorio mediante los cuales se determinaron las propiedades y características: físicas, químicas y mineralógicas.

ANTECEDENTES

El área de estudio corresponde a la parte oriental y nororiental de la Hoya de Loja, específicamente la Formación San Cayetano donde se encuentra una gran cantidad de diatomitas con potencias que varían desde algunos centímetros hasta varios metros.

Hungerbühler *et al* (2002) menciona la presencia de diatomitas en la Formación San Cayetano, describiéndolas como capas abundantes, con intercalaciones de lutitas de color marrón, gris y blanca en parte silicificadas y horizontes piroclásticos. Adicionalmente trabajos realizados por las Naciones Unidas (1969) a 4 muestras de diatomitas tomadas al este de la cuenca indican un promedio de 85% de sílice con una densidad menor al 0,7 gr/cm³. Asimismo estudios llevados a cabo por el Instituto Federal de Geociencias y Minería, Cooperación con Ecuador, realizados por Brito y Markwich, (1989), analizaron varias muestras recolectadas en la hoya de Loja dentro de la Formación San Cayetano, con resultados similares a los del estudio actual.

OBJETIVOS

- Caracterizar las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja-Ecuador)
 - Realizar análisis de laboratorio en las muestras obtenidas con el fin de determinar las propiedades y características físicas, químicas y mineralógicas.
 - Determinar la distribución de las diatomitas y elaborar un mapa geológico identificando y delimitando los tres miembros de la Formación San Cayetano.

CAPÍTULO 1

**ASPECTOS GENERALES, METODOLOGÍA DE CAMPO
E INTRODUCCIÓN A LAS DIATOMITAS Y DIATOMEAS**

1.1 ASPECTOS GENERALES

1.1.1 Acceso

La ciudad de Loja se encuentra ubicada al Sur de la Región Interandina de la república del Ecuador, corresponde a una pequeña depresión de la provincia de Loja situada a 2.064,186 m s n m; 3°59'49,27929" Latitud Sur, 79°12'05,28667" Longitud Oeste. Tiene una extensión de 5.186,58 ha (Figura 1). La zona de estudio (Formación San Cayetano) corresponde al flanco Oriental de la ciudad extendiéndose de norte a sur, ubicada entre las coordenadas: 697829 E – 9565387 N; 701099 E – 9557241 N, está delimitada geológicamente por las formaciones: Chiguinda al Norte, Quillollaco al Sur y Este, y una terraza aluvial al Oeste¹.

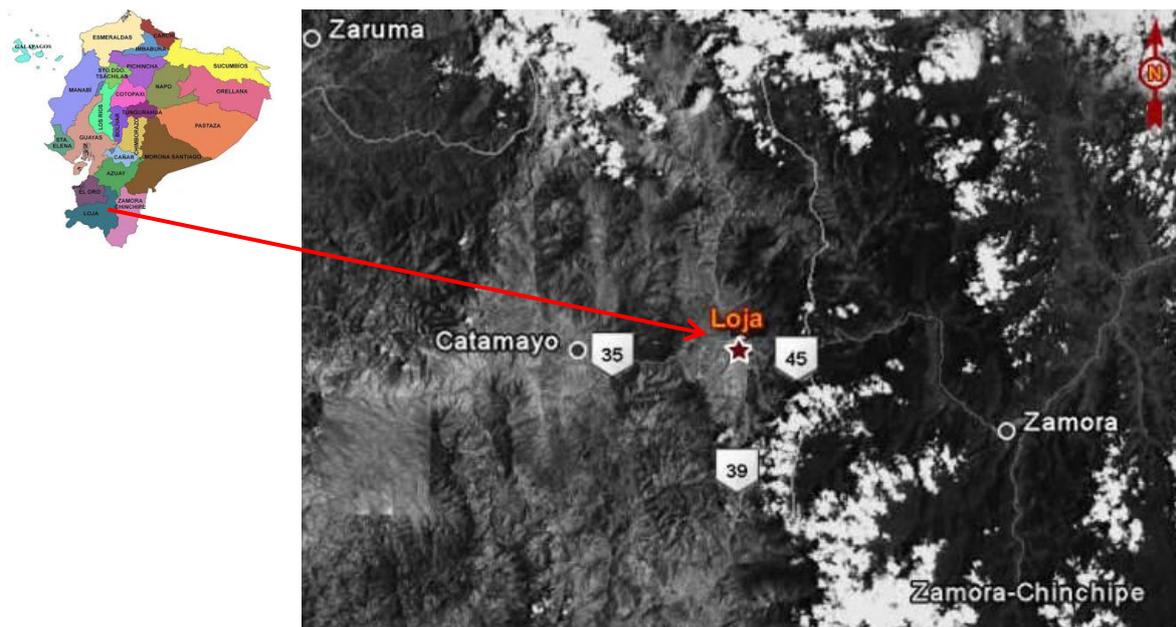


Figura 1. Ubicación de la ciudad de Loja

1.1.2 Hidrografía

La cuenca superior del río Zamora u hoya de Loja (230 km²) es parte del gran sistema del río Santiago (27.425 km² de área drenada), afluente del Marañón–Amazonas y es el asiento de la actual ciudad de Loja. Del nudo de Cajanuma, límite meridional del valle de Loja, nace el sistema a través de dos ríos pequeños: el Malacatos septentrional y

¹ Perspectivas del medio ambiente urbano: Geo Loja (2007)

el Zamora Huayco (Guacunamá y Pulacu en el lenguaje de los antiguos Paltas). Estos ríos se unen al Norte de la ciudad de Loja, dando origen al río Zamora y engrosan su caudal recibiendo varios afluentes, denominados en el lenguaje local quebradas¹.

El afluente más importante del río Zamora, aguas abajo de la unión con el Malacatos septentrional, es el río Jipiro, que se une al caudal principal desde la margen derecha. Los ríos del valle de Loja, aunque pequeños en caudal, se han constituido en parte importante de la ciudad: por ellos y la vegetación ribereña que detentan fluye parte de la biodiversidad del Parque Nacional Podocarpus (PNP)².

a) Río Malacatos.

Constituye el eje principal de la hoya, nace en el nudo de Cajanuma (PNP) a 3.400 m s n m. Su curso en la parte baja del valle tiene una pendiente de 1,2 % y una longitud de 14 km hasta la unión con el Zamora Huayco².

b) Río Zamora Huayco.

Nace, al igual que el río Malacatos septentrional, en las estribaciones de la cordillera Central de los Andes. Su curso es natural hasta la entrada a la ciudad. Recorre aproximadamente 10 km hasta la unión con el Malacatos septentrional, con una pendiente media de 1,35 % en la parte baja².

c) Río Jipiro.

Nace también en la cordillera Central de los Andes, tiene así mismo un curso de montaña y pendiente media en la parte baja de 1,5 %, hasta la unión con el Zamora².

d) Río Zamora.

Toma su nombre luego de la unión de los ríos Malacatos y Zamora Huayco. El río Zamora es el único en la provincia de Loja que nace en los flancos occidentales de la cordillera Central de los Andes y luego rompe la cordillera al norte de la ciudad de Loja,

² Perspectivas del medio ambiente urbano: Geo Loja (2007)

en el sector de Jimbilla y vierte sus aguas en la cuenca amazónica, a diferencia de otros ríos que fluyen hacia el occidente y pertenecen a la cuenca del Pacífico².

1.2 METODOLOGÍA DE CAMPO

1.2.1 Reconocimiento previo

Previa la ejecución del trabajo de campo, basándose en mapas geológicos existentes, información recolectada de trabajos anteriores y comunicación personal, se realizó un reconocimiento general de la zona de estudio, el recorrido comprendió todo el flanco oriental de Norte a Sur.

1.2.2 Geología

Como parte fundamental dentro de la realización de este estudio se llevó a cabo el levantamiento geológico del flanco oriental de la cuenca de Loja, a lo largo de toda la Formación San Cayetano. El trabajo de campo consistió en el levantamiento y estudio geológico de los afloramientos (toma de datos estructurales, descripción de los tipos de rocas y toma de muestras), mediante los cuales se realizó una determinación de los cambios litológicos y posibles contactos; si bien toda la Formación San Cayetano presenta una litología similar, es únicamente el miembro Medio Limolitas el que contiene diatomitas.

Los parámetros usados para la identificación de las diferentes litologías tanto de la Formación San Cayetano como de las formaciones y depósitos adyacentes se basaron en las descripciones realizadas por: Alvarado (1967), quien en su tesis no publicada denominada “Estudios geológicos de una cuenca sedimentaria de los carbones del Austro de Loja, Ecuador” introduce la Formación San Cayetano, anteriormente denominada como la parte superior de la Formación Jipiro; y Hungerbühler (1997) quien en su tesis doctoral denominada “Neogene Basins in the Andes of Southern Ecuador: evolution, deformation and regional tectonic implications” describe a detalle las formaciones de la hoya de Loja e identifica los tres miembros de la Formación San Cayetano.

1.2.3 Mapeo y muestro (manejo, etiquetado)

El mapeo correspondió al recorrido de afloramientos, descripción de los mismos considerando los parámetros establecidos para la identificación de la litología presente y toma de datos estructurales; dada la extensión del área se realizó un muestreo puntual y compuesto de Norte a Sur; puntual ya que las rocas tomadas pertenecen a un punto fijo particular, y dado que estas son válidas para el punto de recolección se realizaron generalizaciones debido a la homogeneidad de los afloramientos; y compuesto, por la suma del conjunto de muestras puntuales con las cuales se construyó una simple o única (Goso, Muestreo en Superficie) mediante los resultados obtenidos en los diversos afloramientos se determinó el contenido medio de SiO₂ de las diatomitas San Cayetano.

Para la recolección de muestras se consideró las características físicas reconocibles en campo: textura, peso, porosidad, dureza y ausencia de estratificación.

El muestreo se lo realizó en las vías, senderos y afloramientos naturales encontrados en el área de estudio; zonas de difícil acceso se caminaron, de esta manera se aseguró un buen mapeo de toda la zona.

1.2.4 Equipo utilizado

Dada la topografía irregular de la hoya de Loja y las zonas de difícil acceso se usó una motocicleta para desplazarse a lo largo de la zona de estudio.

Del equipo de campo se trabajó con un GPS marca Garmin, modelo Colorado 300 datum WGS84, para la obtención de datos estructurales se trabajó con una brújula tipo Freiburger y elementos básicos: martillo geológico, ácido clorhídrico al 10 %, bolsas para muestras, papel film, libreta de campo, cámara fotográfica y lápices de colores.

1.2.5 Trabajo de gabinete y laboratorio

a) Trabajos de gabinete

Finalizados los trabajos de campo, con los datos obtenidos se redactó el aspecto geológico comprendido dentro del Capítulo 2 literal 2.3, explicando a detalle los aspectos geológicos (descripciones litológicas, elementos estructurales) que conforman el Miembro Medio de la Formación San Cayetano; con la ayuda de softwares (AutoCAD, ArcMap,

Quantum GIS) se elaboró el mapa geológico³ correspondiente a la formación San Cayetano y sus tres miembros.

b) Propiedades y características físicas químicas y mineralógicas

Los análisis de las propiedades físicas y químicas se llevaron a cabo en los laboratorios del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja, los análisis realizados fueron: examen microscópico, contenido de humedad, densidad real y aparente, porosidad, granulometría, contenido de arena, calcinación, color en la escala de Munsell y contenido de materia orgánica.

Las características químicas y mineralógicas se analizaron mediante fluorescencia de rayos X y difracción de rayos X respectivamente, en los laboratorios del Instituto Nacional de Investigación Minero Geológico Metalúrgico (INIGEMM). Mediante estos dos análisis se logró determinar el contenido de elementos químicos y minerales que conforman a las diatomitas San Cayetano.

1.3 INTRODUCCIÓN A LAS DIATOMITAS Y DIATOMEAS

1.3.1 Definición y características

Las diatomitas son rocas silíceas sedimentarias orgánicas (Figura 2), ricas en SiO₂ (una variedad de ópalo coloidal, amorfa), que no contienen minerales metálicos, es similar a la tiza, suave al tacto, friable⁴, de grano muy fino, más o menos estratificadas y están constituidas de restos de microorganismos acuáticos denominados diatomeas. Las características únicas incluyen un color claro (blanco a crema o amarillento usualmente, crema a gris *in situ* y raramente negra); la diatomita húmeda presenta una coloración más oscura que la diatomita seca, químicamente inerte en la mayoría de gases y líquidos; de poros muy finos (poros <1µm), con una estructura semejante a la de un panal, con alta capacidad absorbente, baja densidad aparente (<1 g/cm³); lo que le permite flotar en el agua cuando no está saturada.

³ Los tres miembros de la Formación San Cayetano fueron mapeados y estudiados a detalle, información adicional contenida, se obtuvo de la recopilación de varios mapas, tesis y estudios geológicos realizados dentro de la Hoya de Loja.

⁴ Que se desmenuza fácilmente.

El contenido de agua en los poros varía entre el 20 y > 70 % en peso, también es ligera de peso y presenta cierta rigidez. Además posee una baja conductividad térmica, un alto punto de fusión y presenta propiedades puzolánicas⁵.

Otros términos utilizados para llamar a las diatomitas son: kieselguhr (Alemania), moler o tierra moler (una forma impura de Dinamarca con hasta un 30% de arcilla) y tierra diatomácea. (Brito y Markwich, 1990).

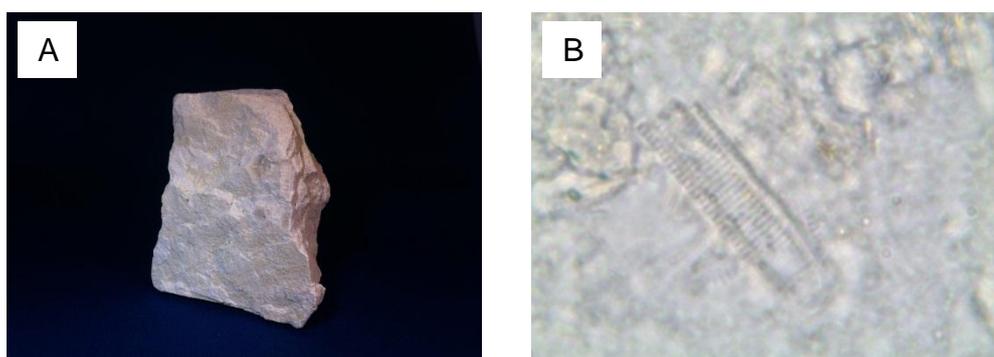


Figura 2. **A – B.** Diatomita y Diatomea respectivamente. Formación San Cayetano. Muestra MT-15, imágenes tomadas dentro del Laboratorio de Petrografía del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil.

1.3.2 Botánica de las diatomitas

Las diatomitas están constituidas por microorganismos acuáticos llamados diatomeas; estas, son organismos vegetales microscópicos unicelulares eucariotas y fotosintéticos, pertenecen a la clase de los *bacillario-phyceae* y a la orden de los *bacillariaes*. Conformadas por el núcleo, el protoplasma y la membrana exterior que secretan diminutas formas ornamentadas, esféricas y discoidales compuestas de sílice. Se desarrollan tanto en agua dulce como agua salada. Estos organismos tienen la habilidad de absorber de su ambiente natural el fósforo y su principal nutriente el sílice disuelto en el agua, formando un esqueleto poroso pero rígido constituido de sílice amorfo ($\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$) cuyo contenido de agua varía entre 4 y 9 %. Al ser autótrofas sintetizan sus materiales a partir de sustancias inorgánicas como el CO_2 (Florez y Lozano, 1999; Brito y Markwich, 1990).

⁵ Aptitud de un material pulverizado de reaccionar químicamente en presencia de agua con hidróxido de calcio a temperatura ambiente, formando compuestos poco solubles que poseen características cementantes, es decir capaces de desarrollar resistencia por endurecimiento hidráulico.

Estas plantas acuáticas microscópicas poseen un elaborado esqueleto interno formado de sílice que contiene dos mitades articuladas llamadas frústulas, que dividen el espacio interior en dos cámaras. El esqueleto fosilizado de las diatomeas varía en formas desde menos de 1 μm a más de 1 mm de diámetro pero típicamente de 10 a 200 μm de diámetro. Las frústulas tienen una amplia variedad en sus formas, incluyendo cilindros, discos, plumas, escaleras, agujas y esferas. (Dolley y Moyle, 2003; Moyle y Dolley, 2003).

Brito y Markwich (1990), indica que la segmentación de las diatomeas en condiciones ideales se produce entre dos o tres veces al día y una vez por semana, formándose en un lapso de 30 días hasta 100 millones de descendientes pudiendo alcanzar en 1 m^3 de agua aproximadamente 10^9 individuos. La vida de una diatomea dura aproximadamente 24 horas produciendo así una sedimentación de esqueletos ricos en SiO_2 , la velocidad de sedimentación puede llegar hasta 1 mm por año.

1.3.3 Geología de las diatomitas

a) Hábitat y ambientes de depositación

En ambientes de depositación lacustre a diferencia de los marinos, existe una mayor proliferación de diatomeas peniformes, además la cantidad de estos yacimientos es mayor a la de los marinos, sin embargo estos últimos exceden en tamaño a los lacustres. (Brito y Markwich, 1990; Bradbury y Krebs, 1995).

El ambiente ideal para la formación de depósitos de diatomitas requiere condiciones tectónicas y medioambientales estables, una cuenca de agua de poca profundidad con un suministro de sílice constante (5-20 ppm) y ambiente no tóxico, rico en materias orgánicas y conteniendo Boro⁶, un ambiente de aguas tranquilas casi sin corrientes, con poca sedimentación, clástica o química donde los depósitos acumulados se preserven y una temperatura entre 15°-30°C (Brito y Markwich, 1990). Sin embargo en ambientes lacustres puede ocurrir una amplia variación de estas condiciones. La fuente de sílice proviene generalmente de aguas subterráneas, de la reacción de las rocas adyacentes con el agua del lago, influjo de cenizas volcánicas o afloramientos de agua de mar ricos en nutrientes. Los depósitos continentales son principalmente de origen

⁶ El Boro es un micronutriente esencial para las diatomeas ya que se encarga del mantenimiento de la estructura de la pared celular.

lacustre, aunque los hay de origen fluvial, palustre e inclusive algunos depósitos tipo estuario también son conocidos.

b) Procesos post-deposicionales (litificación y diagénesis)

Una vez depositadas las diatomeas silicificadas son más resistentes a la dilución que cualquier otro tipo de materia orgánica, sin embargo el depósito está sujeto a diagénesis, soterramiento e interperismo, donde todos estos factores juegan un rol importante pudiendo modificar las características del yacimiento. La diagénesis de sedimentos en lagos empieza inmediatamente después de la depositación. Los productos de la diagénesis y la post-diatogénesis pueden incluir cementos, facies de chert, zeolitas, y minerales de arcilla, muchos de ellos formados a partir del sedimento original de diatomeas. Además la diagénesis puede preservar un yacimiento, mejorar su calidad, o destruirlo por completo, dependiendo del tipo y severidad del proceso. Si sobre el yacimiento se encuentran sedimentos, estos evitan que los procesos de erosión lo afecten; además, dicha capa de sedimento puede compactar la diatomita y remover el exceso de agua del material diatomáceo. La lixiviación elimina la materia orgánica y otros materiales biogénicos de las diatomitas lo que aumenta la calidad del depósito (Moyle y Dolley, 2003; Wallace, 2003).

A mayor profundidad y aumento de la temperatura se produce una recristalización de las frústulas y destrucción de algunas de las propiedades físicas. Se describe un proceso de cambio de las propiedades de la roca, asociado a soterramiento con profundidades que van aproximadamente entre 600 a 1.500 m, donde ocurre una transición biogénica⁷ entre los miembros de cada serie α - cuarzo, α - tridimita y α - cristobalita (Figura 3), los dos últimos se originan debido a la transición lenta entre una serie y la otra. Las formas de sílice estable termodinámicamente son α - cuarzo, γ - tridimita y β - cristobalita. En caso de metamorfismo mayor la estructura fina de los esqueletos es disuelta y con la pérdida del espacio de los poros del 90 % al 10 % y aumento de la densidad se forman rocas masivas de silicatos (porcelanita, chert) (Moyle y Dolley, 2003; Barron, 1987; Brito y Markwich, 1990; Hernández).

⁷ Biogénico: sílice amorfo de origen orgánico originado por diatomeas y fitolitos.

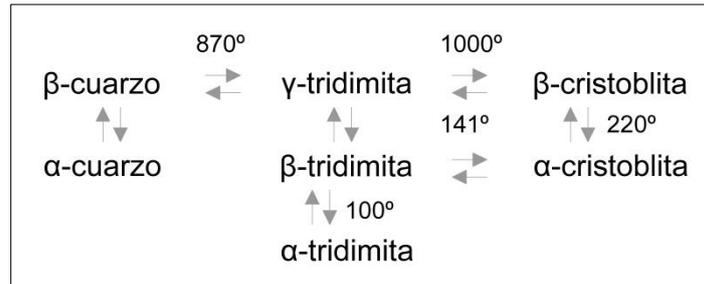


Figura 3. Transición de la serie del cuarzo por diferencia de temperatura (Hernández)

Procesos post-deposicionales pueden destruir, cubrir o preservar un depósito de diatomitas. Estos procesos, que mayormente son locales en escala incluyen levantamiento, exponiendo dichos yacimientos a los elementos climáticos, procesos erosionales y cambios en la hidrología. Los depósitos marinos se encuentran mejor preservados debido a eventos post-deposicionales de sedimentos más jóvenes. Por otro lado sedimentos volcánicos cubrieron y preservaron muchos depósitos lacustres continentales alrededor del mundo (Moyle y Dolley, 2003; Wallace, 2003).

c) Distribución temporal

Los restos de estos organismos a través de miles de años se depositaron en fondos de océanos y lagos, formándose sedimentos de carácter orgánico, la descomposición de los residuos orgánicos dio paso a la acumulación de los esqueletos que se compactaron y posteriormente se fosilizaron formando depósitos de diatomitas (Tabla 1). Las estructuras fosilizadas tienen una composición $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$, similar a la del ópalo o sílice hidratado (Dress, 1998). Además pueden contener minerales de arcilla y carbonato, cuarzo, feldespatos y vidrio volcánico.

Las acumulaciones marinas más antiguas de diatomitas pertenecen al Cretáceo, depositadas entre 66 millones a 133 millones de años atrás; mientras que las de agua dulce datan del Paleógeno inferior (Eoceno a Holoceno - Mioceno) (Round, 1990). Algunas ocurrencias más antiguas de diatomitas han sido de solidificación alteradas en el transcurso diagenética a otras formas de sílice donde la sustancia opalina de los esqueletos de diatomeas se transforma en modificaciones de SiO_2 más estables, sobre todo si existe un leve metamorfismo y un esfuerzo tectónico.

Hoy en día las diatomitas forman parte de estructuras continentales. En ciertas regiones los depósitos de diatomitas tienen el espesor y la pureza suficiente para ser explotada para diferentes usos.

Tabla 1. Sumario, comparación de las diatomitas, hábitat, y factores que afectan la formación marina y continental-lacustre de los depósitos de diatomitas. *With or Without Salt-a Comparison of Marine and Continental-Lacustrine Diatomite Deposits-200; Brito, S., Markwich, H., (1989).*

Factor	Depósitos marinos	Depósitos continentales-lacustres
Diatomitas y hábitats	Priman formas planctónicas, con menos formas bentónicas; las formas bénticas son raras en sedimentos de aguas profundas.	Formas planctónicas y bentónicas en lagos, predominado las planctónicas. Formas bentónicas dominan arroyos y suelos.
	Combinadas las taxas marinas y lacustres existen alrededor de 20,000 especies en el mundo. Un estimado de 1,000 especies de agua dulce; y 10 a 30 especies lacustre endémicas.	
	Principalmente márgenes continentales con un ciclo de surgencia ⁸ de corrientes ricas en nutrientes y corrientes de superficie que dispersan agua sin nutrientes en la parte superior 100-200 m, y plancton de aguas profundas.	Principalmente sistemas lacustres pequeños asociados a eventos volcánicos que represan sistemas fluviales formando lagos; requiere un aporte continuo de nutrientes ricos en sílice en lagos con baja alcalinidad. También ocurre en sistemas fluviales lentos, pantanos, estanques y suelos.
	Estenohalino ⁹	Eurihalino ¹⁰ ; no excesivamente alcalino.
	Temperaturas estables, salinidad, pH, nutrientes, y corrientes de agua.	Temperaturas variables, salinidad, pH, nutrientes, y corrientes de agua
Ambiente de deposito	Alta productividad de diatomeas; larga duración; dilución mínima clástica y biogénicas; columnas de agua permiten a las diatomeas llegar al fondo	Alta productividad de diatomeas; larga duración pero más corta que la marina; dilución mínima clástica y biogénicas; volcanismo periódico.
Dilución	Dilución de los sedimentos terrígenos cerca los márgenes continentales o en formas biogénicas como radiolarios durante la deposición.	Dilución por un exceso de sedimentos clásticos y ceniza volcánica dentro de las cuencas.
Diagénesis y preservación	Sedimentos marinos cubren y elimina el agua, la lixiviación elimina la materia orgánica excedente lo que aumenta de calidad. El exceso de compactación puede triturar conchas, y a mayor profundidad (> 600 m, >50° C) se puede recristalizar el sílice.	Sedimentos compactos clásticos o volcánicos remueven el agua, la lixiviación elimina la materia orgánica excedente lo que aumenta de calidad. El exceso de compactación puede triturar conchas, y a mayor profundidad (> 600 m, >50° C) se puede recristalizar el sílice.
	Preservación principalmente gracias al sílice en las frústulas. Además, sedimentos marino jóvenes protegieron los depósitos de diatomita del interperismo y la erosión cuando ocurrió el levantamiento del fondo oceánico.	Preservación principalmente gracias al sílice en las frústulas. Cubiertos por sedimentos terrígenos o flujos volcánicos protegiendo así a la diatomita del desgase y la erosión.
Lapso de tiempo	Cretáceo temprano a Holoceno	Eoceno a Holoceno
Distribución en Ecuador	Lutitas miocénicas del Miembro Villingota de la Formación Tosagua sedimentadas en las cuencas cretáceas/terciarias de Progreso; yacimiento Sucre (Península de Santa Elena) y Manabí.	Depresiones interandinas de la Sierra y en lagunas del Pleistoceno y Holoceno; Laguna de Yahuarcocha, Río Coyago – Guayllabamba, Latacunga – Pujilí, Río Cutuchi, Valle del Río Palmira y Yacimiento de Galte, La región Sur de la Sierra

⁸ Proceso en el cual el agua del mar sube a la superficie desde el fondo marino.

⁹ Organismos acuáticos que sólo son capaces de vivir en un estrecho rango de concentración de sales.

¹⁰ Capacidad de algunas especies de entrar tanto en aguas dulces como saladas.

CAPÍTULO 2

GEOLOGÍA DE LA CUENCA DE LOJA

2.1 TECTÓNICA REGIONAL

Regionalmente la cuenca de Loja se encuentra dentro del Terreno Loja – Olmos, que comprende las rocas y estructuras emplazadas dentro de la Cordillera Central o Real de Ecuador y Occidental de Perú, presenta una formación elíptica alargada de Norte a Sur de 25 km x 10 km y se deposita sobre un basamento de rocas metamórficas (Unidad Chigüinda) con presencia de intrusivos (granito biotítico de grano medio) de espesor desconocido y fuertemente alterados. La ciudad de Loja ocupa un lugar en el centro de la cuenca a una altura de 2.100 m (Sauer, 1965; Kennerley, 1973; Pilatasig *et al*, 2005).

El basamento de las cuencas constituye las rocas metamórficas de origen tectónico de edad Paleozoico que comprenden rocas de bajo grado metamórfico y en su mayoría esquistos grafitosos, filitas negras y verdes, mármoles y en menor proporción cuarcitas, y localmente las rocas volcánicas-volcanoclásticas de edad Paleoceno-Eoceno-Oligoceno sobreyacidas por secuencias sedimentarias de edad Mioceno (Figura 4) (Hungerbühler, 2000). Y se restringen a cuencas sedimentarias (Loja, Malacatos, Gonzanamá y Nabón) formadas dentro del dominio Loja-Olmos, que a su vez son importantes rasgos morfoestructurales y tectónicos presentes en la zona de estudio, más aún cuando sobre ellas se han desarrollado los más importantes asentamientos humanos del sur del Ecuador. Las litologías típicas incluyen conglomerados, areniscas, lutitas y limolitas. Ocasionalmente ocurren lentes de carbón tipo hulla. (Pilatasig *et al*, 2005).

Las cuencas se caracterizan por el fuerte control ejercido por las principales estructuras tectónicas durante y después de su emplazamiento y relleno, producto de lo cual se encuentran fuertemente deformadas. Estas deformaciones se reflejan en el fuerte plegamiento y en la presencia de cabalgamientos de bajo ángulo presente en las rocas sedimentarias, así como en las rocas metamórficas que constituyen los bordes de las cuencas. (Pilatasig *et al*, 2005).

2.2 ESTRUCTURA

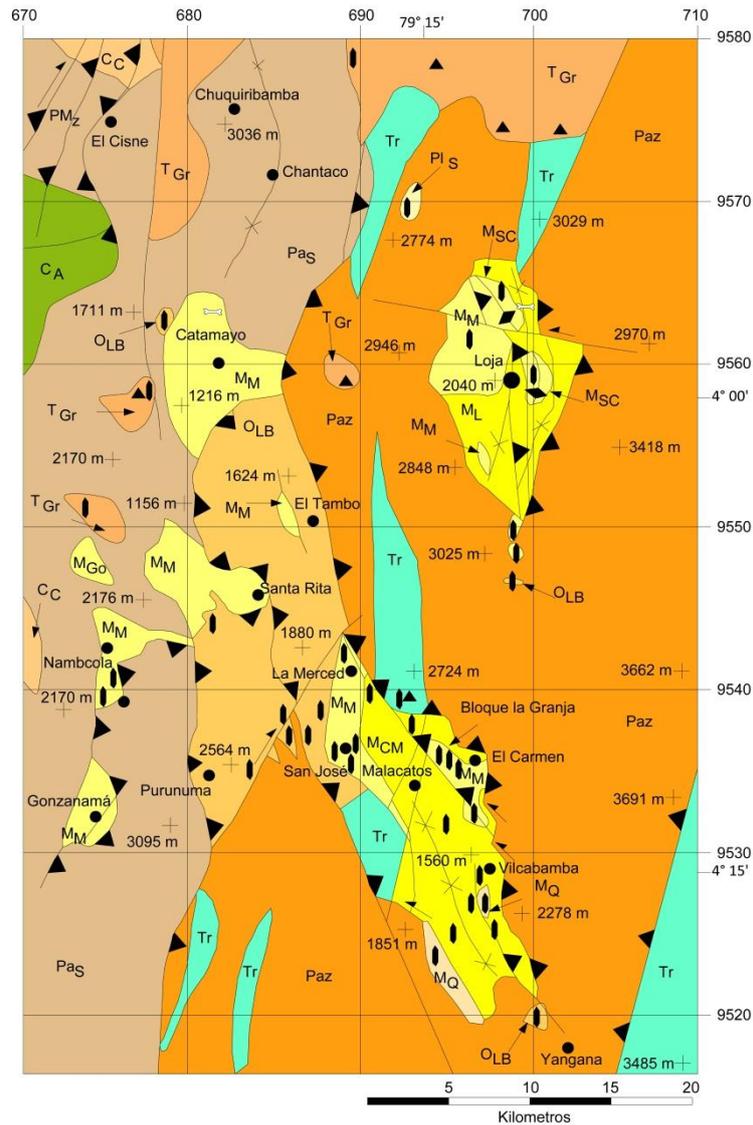
La estructura de la cuenca no está completamente entendida, y el fallamiento es probablemente más importante que lo registrado. En general, los sedimentos están plegados en un sinclinal asimétrico que presenta un eje en dirección Norte-Sur situado cerca del lado este de la cuenca, dentro de la Formación Quillollaco. En el lado Oeste de la cuenca, la estratificación buza suavemente al Este, o está curvada ligeramente

formando escarpados visibles y taludes inclinados. (ANEXO 1, Evolución tectónica-sedimentaria de la zona de Loja durante en Mioceno Medio al Plioceno)

Sin embargo, la Formación San Cayetano con sus capas finas conforma muchos pliegues estrechos exactamente al Este de Loja, con una estratificación vertical al fondo del valle cerca de Quillollaco y localmente, está volcada.

Esto ofrece un importante contraste con el conglomerado masivo, suavemente curvado de la Formación Quillollaco. Hungerbühler (2000) indica que esto es el resultado de un plegamiento inarmónico por medio de capas limitadas, delgadamente estratificadas e incompetentes; las capas se adaptaron a disposiciones laterales por plegamiento, mientras que los conglomerados excesivamente competentes se deslizaron encima del techo.

El fallamiento en el perímetro de la cuenca de Loja ha sido ya mencionado en relación a la Formación Trigal. Dentro de la cuenca existe una falla importante Norte-Sur que se extiende más o menos sobre la totalidad de la longitud de la cuenca, pero está oculta por los aluviones del río Zamora y la carretera a Malacatos. Esta falla, cuyo bloque se levanta al Este, produce la repetición de la Formación San Cayetano en el lado Oeste de la cuenca. Algunas fallas Este-Oeste desplazan los contactos y los ejes de los pliegues sobre el lado de la cuenca y se extienden probablemente dentro de las rocas metamórficas causando alineamientos notables de los ríos. El apareamiento de la serie Zamora es seguramente, una porción levantada del basamento metamórfico.



LEYENDA ESTRATIGRAFICA

Plioceno	Pls	Formación Salapa	
Superior	ML	Formaciones Quillollaco, Cerro Mandango, Uchucay y Grupo Nabón	
	MM	Formaciones Gonzanamá, Catamayo, San José, Santo Domingo, Trigal, La Banda, Belén, San Cayetano, Burrohuaycu, Girón	
Medio	MQ	Formación Quinara	
Inferior	OLB	Formación Loma Blanca	
Oligoceno	PaS	Formación Sacapalca	
Eoceno			
Paleoceno			
Cretaceo	CA	Formación Alamor	
	CC	Formación Celica	

ROCAS INTRUSIVAS	
TGr	Cretoeo tardío - Plutones terciarios (granodioritas)
ROCAS METAMÓRFICAS	
Paz	Rocas metasedimentarias paleozoicas (Unidades Chiguinda, Agoyán, El Tigre, La Victoria)
Tr	Metagranitos triásicos (Unidades granito Tres Lagunas, Sabanilla, Mormoro, Marcabeli)
PMz	Rocas Paleozoicas y Mesozoicas indiferenciadas

DETERMINACIONES DE EDAD

- ▬ datación por fisión de circon
- ▲ edad K-Ar

LOCACIONES PALEONTOLÓGICAS

- ☞ mamíferos del neógeno

ESTRUCTURAS

- ▲ falla Inversa
- ↔ falla horizontal / desgarre
- ◆ anticlinal
- ⊗ sinclinal
- lineamiento
- + altitud (m)

Figura 4. Mapa geológico del Mioceno Medio al Mioceno Tardío de las cuencas de Loja, Malacatos-Vilcabamba y Catamayo-Gonzanamá. Las cuencas están rodeadas por rocas metamórficas del basamento y unidades terciarias volcánicas predominantes. Hungerbühler (1997-2002).

Las ocurrencias de diatomitas que se localizan en la cuenca sedimentaria de Loja, están alojadas en la Formación San Cayetano en el Miembro Medio Limolitas, el cual se encuentra en contacto hacia la parte inferior y superior con los miembros areniscas, ambos pertenecientes a la misma formación y diferenciados por su litología y edad.

En el flanco Occidental de la cuenca sobre las rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda se encuentra discordante la Formación Trigal, superpuesta por un contacto erosivo con la Formación La Banda, la cual aloja concordantemente a la Formación Belén que la superpone; por otro lado en la parte Oriental está la Formación San Cayetano que descansa discordantemente sobre rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda y que hacia el Oeste entra en contacto mediante la falla de cobijadura con las formaciones Trigal, La Banda y Belén a lo largo del río Zamora; superponiendo con una discordancia angular a las formaciones, Trigal, Belén y San Cayetano está la Formación Quillollaco que a su vez está superpuesta por depósitos cuaternarios. (Figura 5).

2.2.1 Formaciones geológicas del área de estudio

a) Unidad Chiguinda (Paleozoico)

Constituido por rocas metamórficas de origen tectónico que comprenden esquistos grafitosos, filitas negras y verdes, mármoles y en menor proporción cuarcitas de bajo grado de metamorfismo, y localmente rocas volcánicas-volcanoclásticas de edad Paleoceno-Eoceno-Oligoceno.

b) Formación San Cayetano (Mioceno Medio – Superior)

Contemporánea con las formaciones La Banda y Belén, aflora en la parte oriental de la de la cuenca de Loja, y está dividida en tres miembros separados por límites transicionales (Hungerbühler, 1997-2002). Miembro inferior areniscas compuesto por areniscas, intercalaciones de conglomerado pobremente ordenados bien redondeados e imbricados¹¹, lutitas y capas de lignito o carbón.

¹¹ Disponer una serie de cosas iguales de manera que queden superpuestas parcialmente.

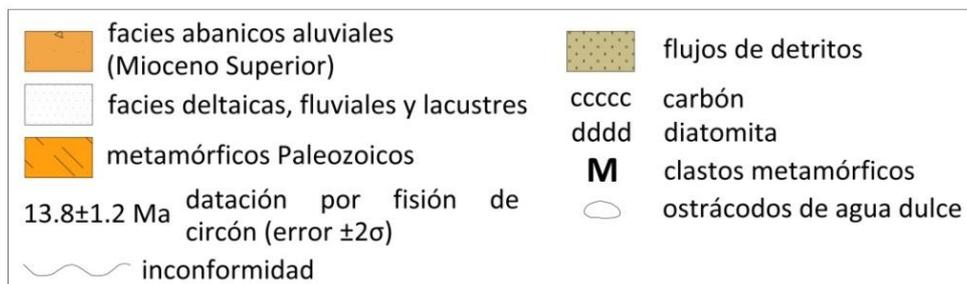
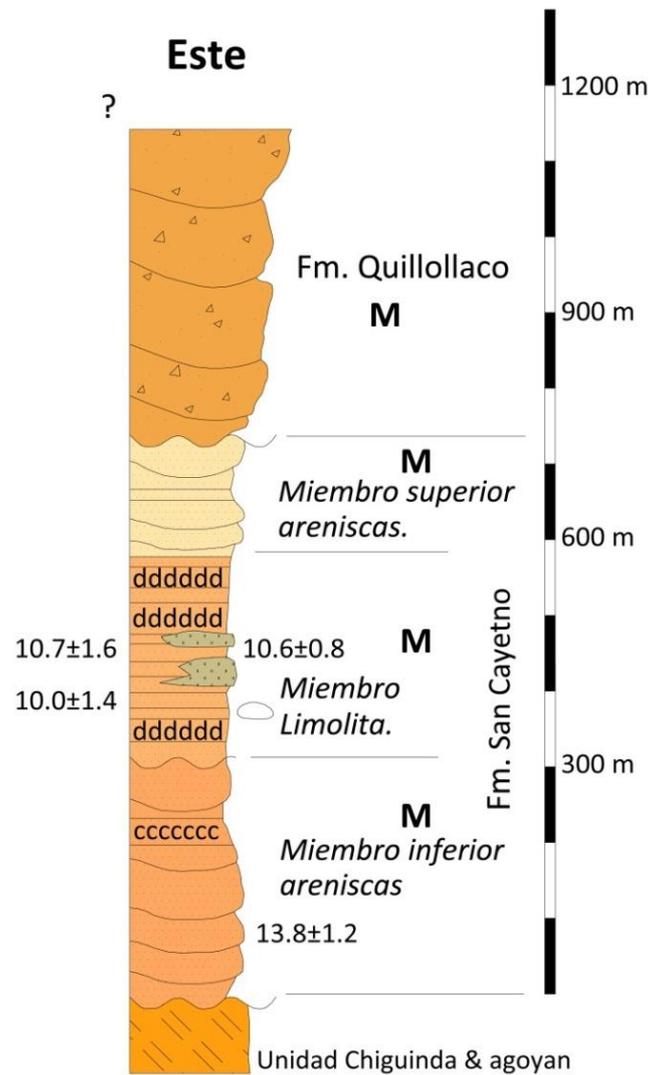


Figura 5. Composición de las secciones estratigráfica de la cuenca de Loja, Hungerbühler (1997).

Miembro Limolitas Incluye repeticiones de lutitas marrón y gris, abundantes capas de diatomitas y algunos horizontes piroclásticos. El contacto entre las capas es bien

definido. Entre los fósiles se encuentran abundantes impresiones de gasterópodos y esqueletos enteros preservados de peces (*Carrionellus diumortus*). Parte de las lutitas se encuentran fuertemente silificadas. Miembro Superior areniscas presenta una litología similar a la anterior, sin embargo con una tendencia de depositación estrato creciente. Areniscas de color marrón y lutitas dominan este miembro. Debido al fuerte plegamiento la estimación del espesor de esta formación es difícil, sin embargo su potencial puede alcanzar los 800 m (Tamay, 2004; Macas y Mora, 2006; Hungerbühler, 1997).

c) Formación Quillollaco (Mioceno Tardío)

El nombre de la Formación Quillollaco es usado únicamente en la cuenca de Loja¹², para evitar la confusión. El nombre geográfico de la localidad tipo se pronuncia Quilloyacú, sin embargo ortográficamente está registrado por Kennerley (1973) como Quillollaco.

La formación está dominada por un conglomerado muy grueso encajado en una matriz de areniscas, este conglomerado aflora principalmente en la parte Este de la cuenca, inmediatamente al Oeste de la ciudad de Loja, y se extiende hacia el Sur hasta el nudo de Cajanuma. Los conglomerados son clastos-soportado que muestran una desarrollada imbricación, bien redondeados con un diámetro que puede ser superior a los 50 cm de filita, cuarcita, esquistos cericiticos, riolita y vetas de cuarzo. Las capas son de *conglomerado canalizado*¹³ de hasta 4 m de espesor. En la parte central de la cuenca y al Oeste de la ciudad de Loja, predominan capas conglomeráticas. (Kennerley, 1973; Hungerbühler, 1997).

2.3 GEOLOGÍA DE LAS DIATOMITAS SAN CAYETANO

Los depósitos de diatomitas se encuentran en la Formación San Cayetano (Mapa geológico), la cual está distribuida ampliamente en el flanco Oriental de la Hoya de Loja expuestas al Este de la falla de cobijadura a lo largo del río Zamora y, se encuentra dividida en tres miembros con límites transicionales (Figura 5).

Los depósitos de diatomitas son producto de dos etapas: (1) La formación de la cuenca sedimentaria de Loja en el Mioceno y (2) la preservación después de la

¹² La parte superior de la Cuenca de relleno Malacatos - Vilcabamba presenta litología similar a la Quillollaco.

¹³ Depósitos continentales del margen de la cuenca.

formación. Procesos locales incluyen la formación de la cuenca, sedimentación, hidrología, y las tasas de los procesos de crecimiento y acumulación de diatomeas.

La morfología de la cuenca y las fuentes de nutrientes y sílice formaron parte importante de la actividad de las diatomeas. Únicamente combinaciones óptimas de estos procesos permiten la formación de grandes depósitos, combinaciones menos favorables resultan en lechos de lagos con poca o nada diatomita (Wallace, 2003).

2.3.1 Miembro Medio limolitas

La Formación San Cayetano (Mioceno Medio - Tardío), aflora en la parte Este del río Zamora y descansa discordante sobre la Unidad Chigüinda y es sobre-yacida por la Formación Quillollaco (Hungerbühler, 1997). (Figura 6).

La base del Miembro Medio está remarcada litológicamente por bancos en escalas métricas de limolitas de color crema, sobreyaciendas por lutitas plegadas de color marrón, gris y blanco, interestratificadas con capas de limolitas, diatomitas y arcillolita de color gris. (Macas y Mora, 2006).

Hacia la parte Norte de la ciudad la Formación San Cayetano entra en contacto con la Unidad Chigüinda y con depósitos coluviales que la sobreyacen, definir el miembro al que pertenece esta área de 542,154 m² es aventurado, dado que se encuentra cubierta por detritos que pueden denominarse como *zona de malange*¹⁴, formada por diferentes elementos transportados con una matriz arcillo-limosa y un bajo contenido de arenas de grano grueso, clastos de cuarzo sub- angulosos provenientes de la meteorización del metamórfico que la circunda, y cantos rodados de coluvios del miembro superior de la misma Formación San Cayetano. (Figuras 6 y 7)



¹⁴ Cuerpo de representación cartográfica; se caracteriza por la falta de continuidad y por contener clastos de diversos tamaños y tipos, en un matriz de grano fino, se forma en márgenes activos continentales o en sedimentos continentales de pendiente.

Figura 6. **A.** Sedimentario. **B.** Metamórfico. (697464-9565745). Ubicado en la parte Norte de la ciudad, se observa el contacto discordante formado entre el basamento y las series de relleno de la cuenca de Loja.

Formando un contacto discordante con la zona de melange se encuentran capas potentes de areniscas y micro-conglomerado de más de cinco metros de potencia estratificadas con lutitas (figura 8-A) color crema amarillento, debido al contacto próximo de esta secuencia con la zona de melange se puede inferir que las facies sedimentarias a las que pertenecen los estratos sobreyacidos por dicha zona pertenecen al miembro inferior areniscas (Figura 8-B).



Figura 7. Las fotografías corresponden a distintas ubicaciones dentro de la zona de melange. Se puede apreciar la irregularidad de los clastos, tanto en tamaño tipo de rocas. **A.** 697602-9565341. **B.** 697852-9565388. **C.** 697837-9569906.



Figura 8. **A.** lutitas **B.** areniscas. (697874-9569902). pertenecientes al Miembro Inferior, cercanas a la zona de melange; a los alrededores de este sitio se pueden apreciar pequeños pliegues producto de fuerzas compresivas evidencia de los eventos tectónicos ocurridos durante el Mioceno.

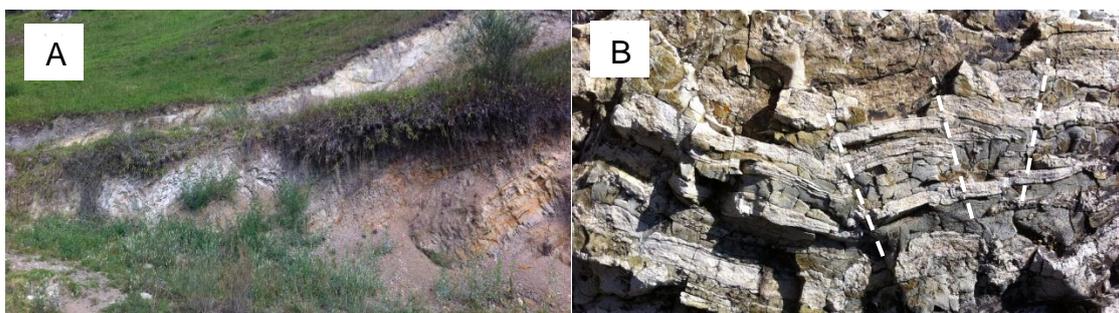
Continuando en la parte Norte cerca del Colegio Militar se observa el contacto entre en Miembro Inferior y base del Miembro Medio (Figura 9-A) la cual está dominada por capas de rocas carbonatadas e intercalaciones de chert, con pliegues locales. (Figura 9-B-E). El Miembro Medio a lo largo de toda su extensión se encuentra remarcado por un sistema de fallas (Figura 9-C/D), cabalgamientos y pliegues producidos en el mioceno

medio en lo que Hungerbühler, (1997) denomina como compresión del Mioceno tardío - un evento regional.

Hacia la parte Nor-Oriental se observa una disminución de las lutitas calcáreas y se da paso a estratos de lutitas con fósiles de hojas, peces y gasterópodos. De los análisis efectuados se puede decir que en las muestras evaluadas del sector ninguna dio como resultado contenido de diatomeas, por lo tanto capas de diatomitas descritas por este sector en trabajos anteriores pueden considerarse como falsos positivos, ya que la descripción usada en campo se basa únicamente en el método visual y manual para determinar el tipo de roca, esta corrección puede ser aplicada para algunos estratos de más de tres metros de potencia que presentan características similares a las de la diatomita. Dichas rocas al encontrarse erosionadas su coloración se torna gris oscura y al ser golpeadas con un martillo se observa una coloración crema, son ligeras al peso y poseen un grado elevado de porosidad. Puede decirse que las rocas mencionadas anteriormente podrían ser zeolitas debido a la ausencia de fósiles de diatomeas en las mismas. (Figura 10).

Hacia la parte superior en dirección Oriente las capas de lutitas presentan una dirección de 118°N con buzamiento de 40°NE y se encuentran intercaladas con estratos de 0,30 m de diatomitas, estas con mayor contenido de fósiles de espículas de esponja que de diatomeas (Figura 11-A).

Avanzando en dirección Sur las capas de diatomeas se pierden y dan paso a depósitos de carbonatos, que antiguamente fueron excavados mediante labores mineras para ser calcinados, procesados y posteriormente usados como elementos en la construcción (Figura 11-B-C-D).



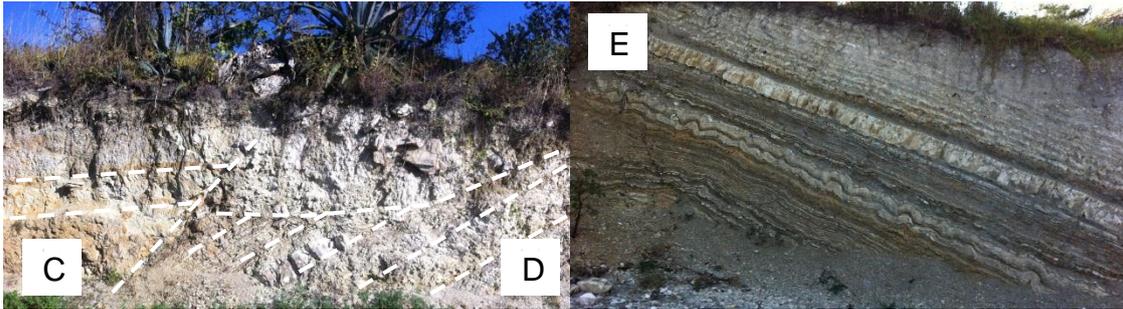


Figura 9. **A.** Piso del Miembro inferior de la Formación San Cayetano, lutitas sobreyacidas por capas de carbonatos (698057-9564123). **B.** Rocas carbonatadas con intercalaciones de chert Az/Bz 85/54 afectados por una falla normal. **E.** Roca carbonatada con micro fracturas. (698098-9564093). **C.** Depósitos de superficie y **D.** Miembro medio a la altura de la iglesia de Virgen Pamba, capas de lutitas parcialmente silicificadas, pliegues locales en arcillas parcialmente silicificadas, sobreyacidas por carbonatos intercalados con lutitas (698203-9563421)

Un cabalgamiento donde capas de lutitas carbonatas con una dirección de 139°N con buzamiento de 42°NE falladas inversamente sobre estratos más jóvenes de areniscas limosas y capas de arcillas con dirección de estratificación entre 185°N y 178°N , con buzamientos de 17°NW y 15°SW respectivamente; evidencian la compresión ocasionada en el Mioceno. La cual se produjo durante y después de la depositación de la serie sedimentaria del Miembro medio, esto se evidencia en los depósitos de caliza, algunos de los cuales aún conservan su estratificación horizontal inicial. (Figura 12)



Figura 10. **A.** Sector de Virgen Pamba, afloramiento tipo donde se consideró un estrato de tres m. de potencia como diatomita. **B.** Análisis microscópicos determinaron que este estrato no contiene fósiles de diatomeas, podría tratarse de una zeolita debido a las características similares que estas dos rocas comparten. (Afloramiento MT-01)





Figura 11. **A.** Afloramiento MT-03, Lutitas crema intercalada con capas de carbonatos y diatomitas con un contenido de espículas de esponja que supera al de fósiles de diatomeas. **B.** Estratificaciones sub-horizontales de calizas. Estos cuerpos se presentan en grandes paquetes a lo largo del Miembro Medio y llega a extenderse varios cientos de metros en dirección N-S. (698505-9563707) **C.** Estratos de calizas de ms de 20 m. de potencia ubicados hacia la parte trasera de Amable María. **D.** Antiguas labores mineras donde se dedicaban a la extracción de caliza. (699378-9561972)

Un sinclinorio ubicado en la parte Norte del Miembro medio delimitada por el río Jipiro se señala que la compresión producida tuvo una dirección Este-Oeste.

Los ejes de estas estructuras pueden apreciarse en la Paz Segunda etapa, vía que conduce a Chinguilanchi, Barrio el Paraíso y la urbanización Río Blanco; este sistema de pliegues se extiende a lo largo de toda la Formación San Cayetano siendo más notoria en el sector de Virgen Pamba, Jipiro y partes de la sección Sur de la formación (Figura 13).



Figura 12. Falla inversa. El bloque de la izquierda descansa angularmente sobre las areniscas limosas de la parte derecha, la parte superior ha sido erosionada (699039-9562608)





Figura 13. **A.** Sinclinal (699989-9561124) lutitas carbonatadas. **B.** Anticlinal (Miembro inferior) Barrio El Paraíso. **C.** Sinclinal (Miembro medio) Urbanización Río Blanco, perteneciente al afloramiento MT-04.

Hacia la parte posterior del complejo ferial en el depósito de maquinaria del Gobierno Provincial de Loja encontramos diatomitas cuyos estratos tienen una dirección de 150°N con buzamiento de 44°SW , la secuencia geológica se repite por esta zona con la diferencia de que las concentraciones de carbonatos se han reducido considerablemente y entra en contacto con el aluvial. Cerca de este sector dirigiéndose en sentido oriental se marca el límite entre el Miembro Medio y el Miembro Superior, el tipo de roca presente es una lutita carbonatada bastante compacta intercalada con pequeñas capas de rocas que contienen espículas de esponja, los exámenes microscópicos de laboratorio no arrojaron resultados positivos de fósiles de diatomeas.

Limolitas alternadas con capas de arcillolitas afloran en el barrio San Cayetano con potencias de hasta 1,50 m. estos estratos tienen dirección de 90°N con buzamiento de 25°SE .

En la vía a Yanacocha se aprecian flujos de detritos conformados por fragmentos angulosos de material mal clasificado de rocas metamórficas (Figura 14-A), esta capas forman parte de un anticlinal en el cual las capas de lutita se presentan volcadas y fuertemente plegadas, la presencia de diatomitas es bastante notoria en esta zona, tres muestras recolectadas a lo largo de la carretera que conduce a Yanacocha dieron positivo, tomando en cuenta que la extensión en forma lineal abarca casi 200 m; puede considerarse como una de las mayores acumulaciones de diatomitas (Figura 14-B). Aun así es importante considerar que estas rocas no vienen solas sino empaquetadas con diversos tipos de material sedimentario.

Los cortes realizados en la carretera vía a Zamora se presentan como lutitas de color crema con repetidas intercalaciones de diatomitas de hasta 0,60 m de potencia que alojan óxidos de hierro. Además se aprecian capas de arcillolitas y limolitas de color gris de 0,5 a 1 m (Figura 14-C).



Figura 14. **A.** Flujos de detritos con clastos angulosos de pizarras, filitas, cuarzo criptocristalino de tamaño variado hasta 0.30 m. (700705-9559302). **B.** Afloramiento MT-09 vía a Yanacocha, sitio donde la ocurrencia de diatomita se extiende a lo largo de 200 m. aproximadamente, la calidad y contenido de sílice es bajo (69.675 %). **C.** Afloramiento MT-06 *Ibidem* MT-09

Macas y Mora (2006) citan “*esta secuencia estratigráfica de lutitas plegadas intercaladas por los dos bloques de flujos se la observa en dos tramos de la vía a Zamora; el primer tramo se localiza en el Km. 2, donde el plegamiento de las capas es mayor y los estratos de lutitas se presentan volcados, mientras que el segundo tramo se lo ubica en el Km 4½.*” Es en este sitio donde se observa un cabalgamiento, en lutitas intercaladas con finas pacas de limolitas, esta falla se extiende a lo largo de todo el corte de la carretera. (Figura 15).

Es importante recalcar como punto de interés que la preservación de impresiones fósiles, bioturbaciones y moldes de microorganismos en este sector es la una de la mejores que se puede observar en la cuenca de Loja, y es sin duda alguna la que mayor número de fósiles registra. Diversos tipos de hojas, flores, y gasterópodos se concentran en esta área, además óxidos de hierro, manganeso y azufre han dado color a algunas de estas volviéndolas llamativas.

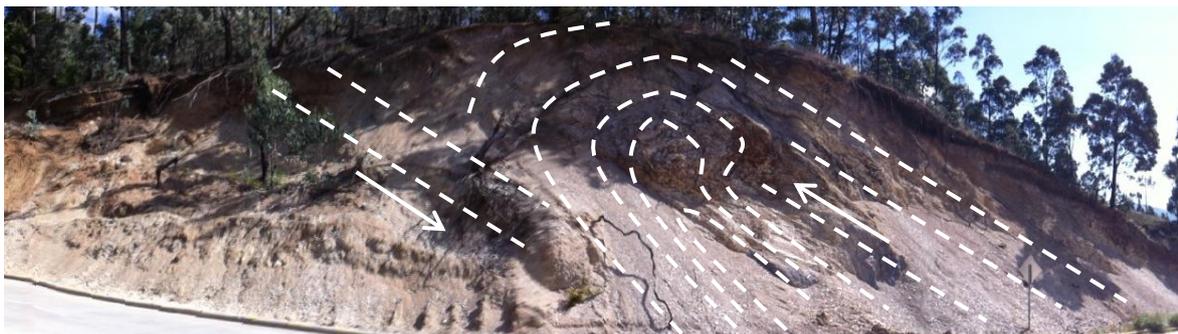


Figura 15. Falla inversa, cabalgamiento. Lutitas con arcillolitas gris claro, vía a Zamora. (700870-9559002)

En la parte sur-oriental tras la escuela La Salle, las Urbanizaciones El Tejar, Los Faiques y Rodríguez Witt el Miembro inferior ha despreciado por completo dando paso al Miembro Medio que entra en contacto con el aluvial del río Zamora Huayco, una secuencia de lutitas se observa en el corte de la Av. Marañón y la Santa Mariana de Jesús, litológicamente se observan lutitas de color marrón y gris de consistencia dura con intercalaciones de arcillolita gris de 50 cm de potencia, con un dirección de estratificación de 248°N con buzamiento de 53°NW . Al igual que en la vía a Yanacocha la ocurrencia de diatomita es amplia encontrándose estratificada entre capas de lutitas y limolitas compactas (Figura 16-A-B).



Figura 16. **A. B.** Afloramientos MT-19 y MT-18 respectivamente, ubicados tras la Salle, la orientación de los estratos sugieren un falla inversa donde el bloque de la izquierda giró aprox. 60° y se colocó casi perpendicular a los estratos de la derecha.

Dirigiéndose en sentido sur oriente por la vía antigua a Zamora, a la altura del vivero municipal se observa un corte vertical hacia la parte interna del vivero, donde se registró el contenido más alto de SiO_2 (71,377 %) y los resultados microscópicos de laboratorio arrojaron un contenido de más del 95% de diatomeas en la muestra MT-15 (Figura 17-A-B).



Figura 17. **A.** Afloramiento de lutitas localizado en el Vivero Municipal (700725-557836). **B.** Afloramiento MT-15. Ubicado en la vía antigua a Zamora, capas de diatomitas y lutitas con un contenido de 71.377 % de sílice, siendo este el valor más alto registrado dentro de esta investigación.

En dirección sur entre el estadio, el centro de rehabilitación y el Grupo de Caballería las intercalaciones de diatomitas continúan con lutitas; estructuralmente se encuentran formando parte de un anticlinal (Figura 18-A-B-C).

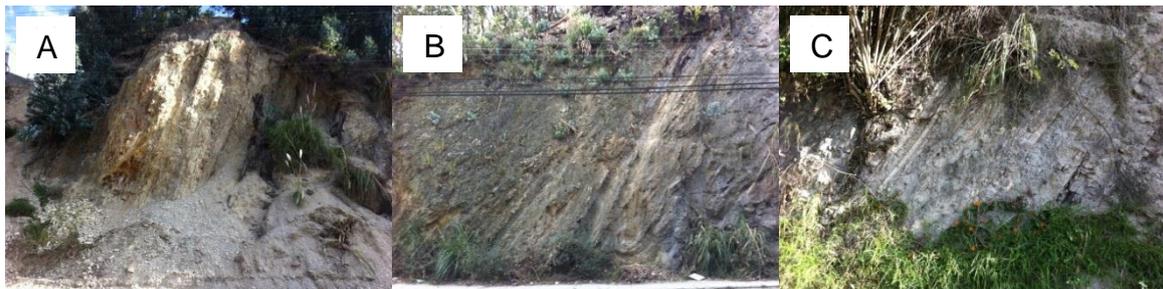


Figura 18. **A. B. C.** MT-13 y MT-16 lutitas con intercalaciones de diatomitas, estudios realizados por las UN, determinaron valores de más del 80 % de sílice para las diatomitas de esta zona.

CAPÍTULO 3

**PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS
FÍSICAS, QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS**

3.1 PROCESO DE CARACTERIZACIÓN

La realización del proceso de las muestras recolectadas en campo se basa en el siguiente esquema de trabajo (Figura 19).

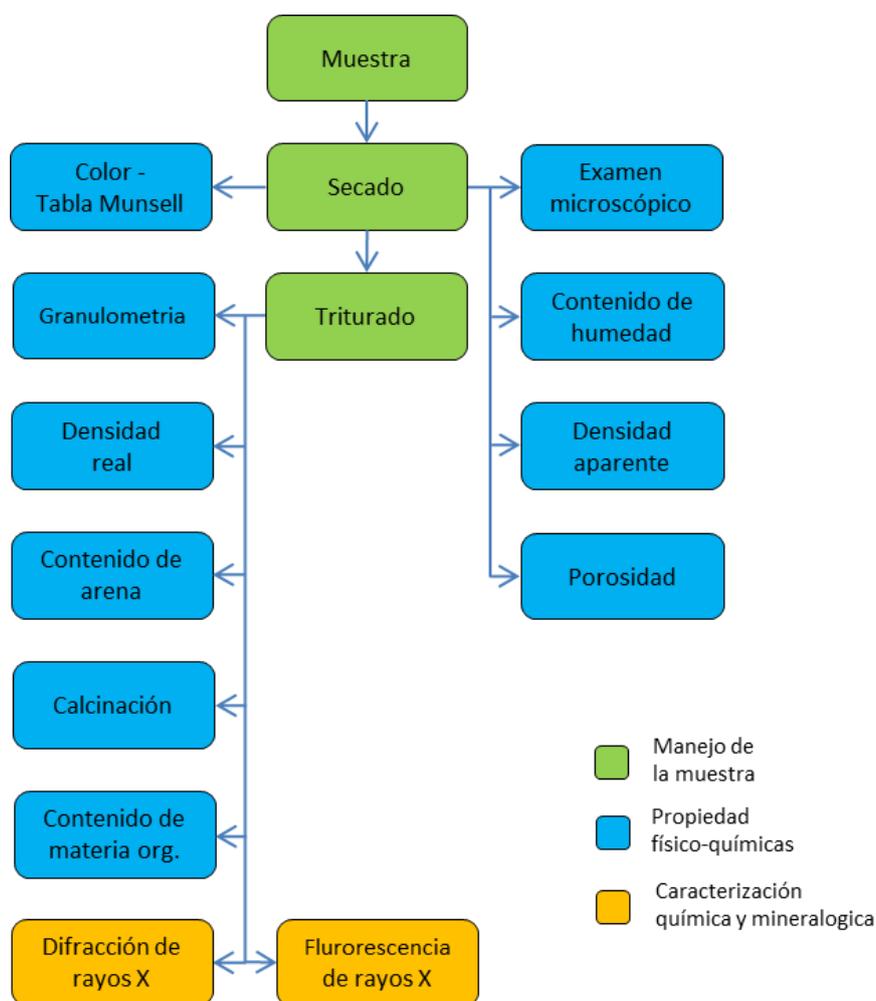


Figura 19. Proceso de caracterización

En el proceso de caracterización se analizaron 19 muestras recolectadas a lo largo de la Formación San Cayetano, de las cuales, 7 presentaron un contenido mixto de espículas y diatomeas, 8 únicamente con espículas y 4 muestras no presentaron ningún tipo de fósiles (Tabla 2). Debido a homogeneidad de los estratos se realizó el análisis químico (ANEXO 20) a 4 de las muestras recolectadas, tomando en cuenta el contenido de fósiles y su distribución en el terreno (ANEXO 2). La caracterización mineralógica

(ANEXO 21) únicamente se efectuó en la muestra MT-15, por presentar mayor contenido de diatomeas.

3.2 EXAMEN MICROSCÓPICO

Las diatomeas no son generalmente visibles al ojo humano, sin embargo diatomeas de mayor tamaño (30 – 40 µm) pueden ser observadas con lupas de mano. Métodos microscópicos ópticos o de escaneo electrónico son necesarios para identificar su presencia.

Basándose en el examen microscópico se pueden hacer las deducciones acerca de la mejor aplicación de la diatomita. Además revela la presencia de fragmentación en las diatomeas y sirve para estimar la proporción de ciertas impurezas minerales de grano grueso (cuarzo, feldespato, minerales pesados, etc.).

Como resultado del examen microscópico se identificaron dos tipos de fósiles, espículas de esponja y diatomeas. (Tabla 2; imágenes 1 - 15). Ambos microorganismos formados por SiO₂. Estudios previos realizados en las diatomitas de la hoya de Loja han dado resultados de más de 80% de contenido de sílice en dichas rocas, sin embargo es importante recalcar que en ninguno de estos estudios se tomó en cuenta la parte paleontológica ni se llegó a identificar si los fósiles que conformaban las muestras analizadas pertenecían a espículas de esponja o diatomeas.

Llegar a una identificación taxonómica no fue posible debido a la calidad de la preparación de las muestras. Si bien el objetivo del presente estudio es la caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano, no se tomó en cuenta la clasificación taxonómica de los microorganismos encontrados, sino confirmar o descartar la presencia de diatomeas dentro de las rocas.

Tabla 2. Examen microscópico

Muestra	MT-01	MT-02	MT-03	MT-04	MT-05	MT-06	MT-07
Fósil	-	-	E. e, Diatomeas	E.e.	-	E. e.	E. e.
Muestra	MT-08	MT-09	MT-10	MT-11	MT-12	MT-13	MT-14
Fósil	E. e, Diatomeas	E. e, Diatomeas	E. e, Diatomeas	E. e, Diatomeas	-	E. e.	E. e, Diatomeas
Muestra	MT-15	MT-16	MT-17	MT-18	MT-19	*(-) muestras sin contenido de material fósil (E.e) Espículas de esponja	
Fósil	Diatomeas	E. e.	E. e.	E. e.	E. e.		



Imagen 1. Muestra; MT-03. **A.** Espículas de esponja. **B.** Espículas de esponja. **C.** Espículas y diatomeas.

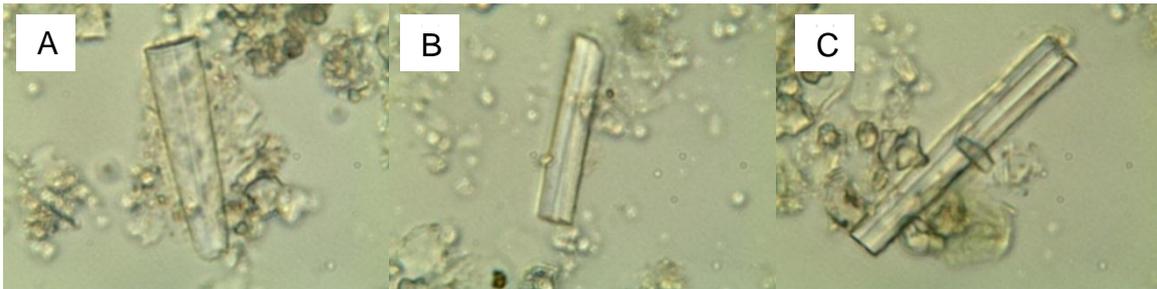


Imagen 2. Muestra; MT-04. **A.** Espículas de esponja. **B.** Espículas de esponja. **C.** Espículas de esponja.



Imagen 3. Muestra; MT-06. **A.** Espículas de esponja. **B.** Espículas de esponja. **C.** Espículas de esponja.



Imagen 4. Muestra; MT-07. **A.** Espículas de esponja. **B.** Espículas de esponja. **C.** Espículas de esponja.

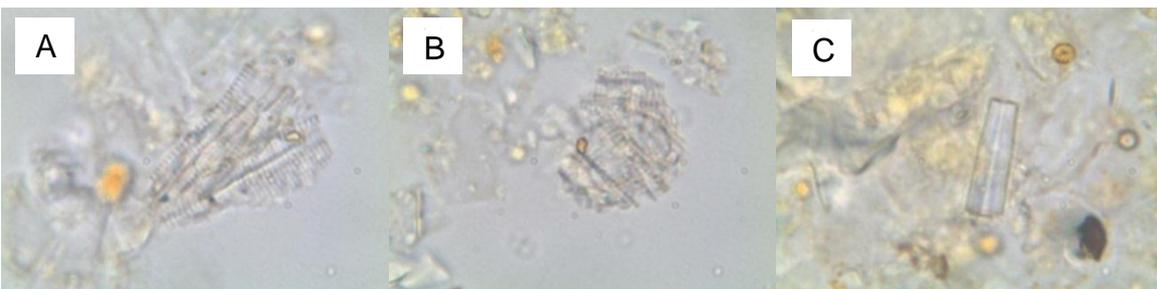


Imagen 5. Muestra; MT-08. **A.** Diatomeas. **B.** Diatomeas. **C.** Espículas de esponja.



Imagen 6. Muestra; MT-09. **A.** Diatomeas. **B.** Diatomeas. **C.** Espículas de esponja.

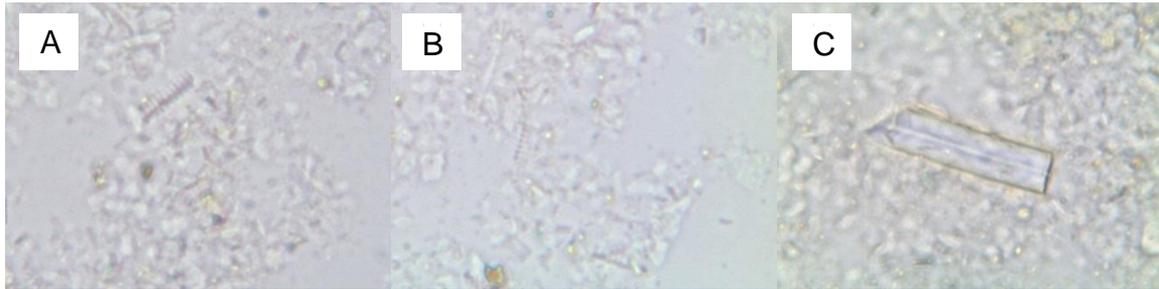


Imagen 7. Muestra; MT-10. **A.** Diatomeas. **B.** Diatomeas. **C.** Espículas de esponja.



Imagen 8. Muestra; MT-11. **A.** Diatomeas. **B.** Diatomeas. **C.** Espículas y diatomeas.

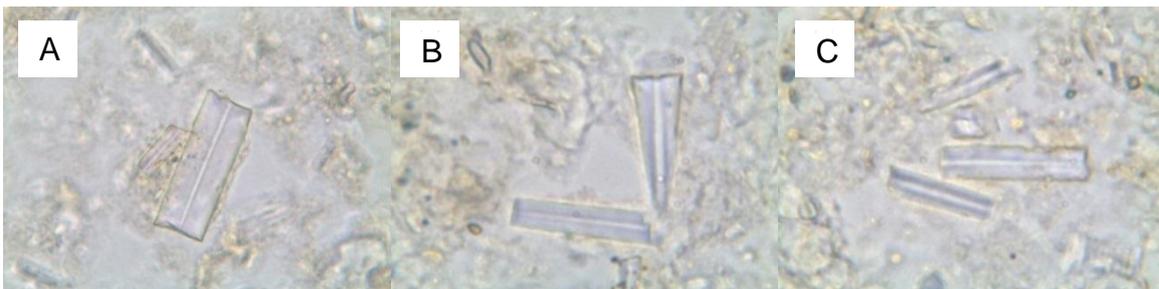


Imagen 9. Muestra; MT-13. **A.** Espículas de esponja. **B.** Espículas de esponja. **C.** Espículas de esponja.



Imagen 10. Muestra; MT-14. **A.** Espículas y diatomeas. **B.** Espículas y diatomeas. **C.** Espículas y diatomeas.

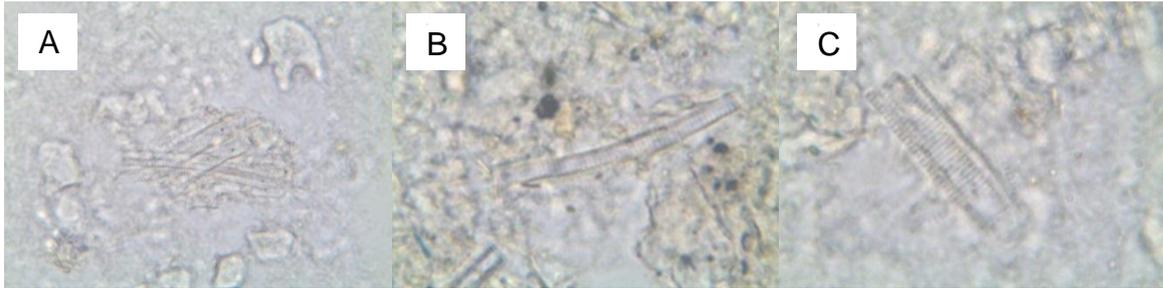


Imagen 11. Muestra; MT-15. **A.** Diatomeas. **B.** Diatomeas. **C.** Diatomeas.



Imagen 12. Muestra; MT-16. **A.** Espículas de esponja. **B.** Espículas de esponja. **C.** Espículas de esponja.



Imagen 13. Muestra; MT-17. **A.** Espículas de esponja. **B.** Espículas de esponja. **C.** Espículas de esponja.



Imagen 14. Muestra; MT-18. **A.** Espículas de esponja. **B.** Espículas de esponja. **C.** Espículas de esponja.

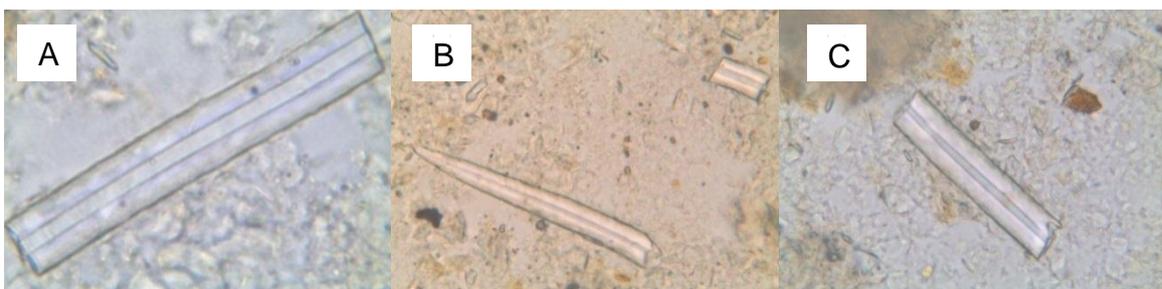


Imagen 15. Muestra; MT-19. **A.** Espículas de esponja. **B.** Espículas de esponja. **C.** Espículas de esponja.

3.3 DENSIDAD

La densidad real de la diatomita puede ser la del sílice hidratado, es decir 2,1. Sin embargo varía entre 1,85 a 2,30 aproximadamente, ya que esta representa la densidad de las partículas, en este caso del ópalo, como mineraloide predominante.

Tabla 3. Densidad real y aparente de las diatomitas de la F. San Cayetano.

Muestra	MT-03	MT-04	MT-06	MT-07	MT-08	MT-09	MT-10	MT-11
D. real (gr/cm ³)	2,378	2,362	2,343	2,331	2,264	2,237	2,145	2,364
D. aparente (gr/cm ³)	1,133	1,364	1,037	1,485	1,069	1,098	1,140	1,049

Muestra	MT-13	MT-14	MT-15	MT-16	MT-17	MT-18	MT-19
D. real (gr/cm ³)	2,364	2,416	2,390	2,268	2,211	2,314	2,345
D. aparente (gr/cm ³)	1,165	0,932	1,496	1,060	1,016	1,164	1,434

La densidad aparente es el peso de 1 ml de diatomita incluyendo los poros cerrados por el armazón de las diatomeas individuales y los intersticios o poros que quedan sin llenar entre dichas diatomeas, lo cual depende de su aglomeración más o menos imperfecta, la densidad aparente es siempre menor a la unidad, esto se debe a que el esqueleto de las diatomeas ocupa siempre una parte del espacio de la verdadera masa, pues cada caparazón encierra multitud de huecos que se encuentran llenos de aire.

La densidad real y aparente de las diatomitas San Cayetano son 2,39 – 2,15 gr/cm³ y 1,04 – 1,49 gr/cm³ respectivamente.

Tabla 4. Comparación de las densidades de las diatomitas “San Cayetano” con estudios realizados en otros países. Verdeja et al 1990.; Manosalva & Naranjo 2009; Ramos 1996; Lorenz y Gwosdz, 2004; United Nations Development Programme, 1969 y datos del estudio.

País	Colombia		Ecuador	
Yacimiento	Boyacá	Sucre	San Cayetano UNDP	Est. Actual
Densidad real (gr/cm ³)	1,95 – 2,27	2,50 – 2,40	-	2,39 – 2,14
Densidad aparente (gr/cm ³)	0,45 – 0,74	0,47 – 0,43	0,6 – 0,7	1,04 – 1,49

País	Perú	España	Australia
Yacimiento	Bayobar	Guadalquivir	New S. Wales
Densidad real (gr/cm ³)	2,37 – 2,15	-	-
Densidad aparente (gr/cm ³)	0,54 – 0,64	0,59 – 1,05	0,34 – 0,95

3.4 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Mediante el análisis granulométrico se determina la distribución porcentual de los distintos tamaños de partículas de una muestra, esto es de extrema importancia como medida de control para los procesos de reducción de tamaño (grado de molienda) al que debe sujetarse el material, con el objetivo de tener el mayor porcentaje de diatomeas completas, ya que esta es una de las principales características sobre el poder de filtración.

Los resultados de la distribución granulométrica se presentan en los anexos de laboratorio. El análisis granulométrico demuestra que el porcentaje de granos < 63 μ sobrepasa el 55.53 %, por lo que se encuentra en un sedimento de grano medio, es importante recalcar que las granulometrías fueron realizadas en seco (ANEXO 4–18).

3.5 POROSIDAD

La porosidad de una diatomita está en relación directa con los procesos industriales; como base fundamental en los procesos de filtración de bebidas, donde tiene su principal aplicación. En la porosidad están involucrados dos valores (1) el volumen de los diminutos huecos formados por los caparazones de las diatomitas individuales y (2) el volumen existente entre dichos caparazones originado por la aglomeración de los mismos.

Una diatomita alcanza grandes valores de porosidad cuando los esqueletos que la conforman se encuentran enteros y las cavidades de los mismos no están obstruidas por impurezas.

El método usado para determinar la porosidad fue el de la pesa hidrostática y se lo realizó en muestras naturales sin calcinar, dando valores promedio de 36,9 – 60,7 %.

Tabla 5. Porosidad abierta de las diatomitas.

Muestras	MT-03	MT-04	MT-06	MT-07	MT-08	MT-09	MT-10	MT-11
Porosidad (%)	55,0	51,4	57,2	60,7	39,0	53,9	54,0	50,9
Muestras	MT-13	MT-14	MT-15	MT-16	MT-17	MT-18	MT-19	
Porosidad (%)	53,1	52,7	59,3	36,9	55,3	54,2	52,0	

3.6 CONTENIDO DE ARENA

Las diatomitas contienen varios tipos de impurezas; minerales como el cuarzo, caolinita y montmorillonita, productos químicos como el hierro y materia orgánica. Algunos de estos elementos se encuentran formando arena que afecta la calidad de la roca, ya que el grano al no ser poroso está disminuyendo la capacidad filtrante de la misma, uso principal para el cual es extraída. Los resultados arrojaron un contenido de arena de 5,5 – 1,7 %.

Tabla 6. Contenido de arena.

Muestra	MT-01	MT-02	MT-03	MT-04	MT-05	MT-06	MT-07	MT-08	MT-09	MT-10
Cont. Arena (%)	3,2	2,1	5,5	1,9	4,7	4,0	4,0	2,6	2,2	2,0
Muestra	MT-11	MT-12	MT-13	MT-14	MT-15	MT-16	MT-17	MT-18	MT-19	
Cont. Arena (%)	2,1	2,7	1,9	3,0	2,7	2,9	1,9	1,7	4,1	

3.7 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

El contenido de humedad natural se lo expresa en porcentaje y es la cantidad de agua que pierde la roca al ser llevada al horno a una temperatura de $(110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C})$, a este se lo determina por una diferencia de peso. La humedad influye en las propiedades físicas como peso, densidad y conductividad eléctrica, los contenidos de humedad varían de 2,8 – 17,5 %.

Tabla 7. Contenido de humedad.

Muestra	MT-03	MT-04	MT-06	MT-07	MT-08	MT-09	MT-10	MT-11
Humedad (%)	6,8	5,7	15,0	6,1	2,8	17,3	21,7	17,5
Muestra	MT-13	MT-14	MT-15	MT-16	MT-17	MT-18	MT-19	
Humedad (%)	12,8	11,7	14,0	8,7	15,3	16,0	11,4	

3.8 PÉRDIDA POR CALCINACIÓN

La pérdida de peso por calcinación corresponde a los valores de (1) agua combinada químicamente o tan fuertemente absorbida que no se pierde a 110°C ; (2) dióxido de carbono procedente de la descomposición de los carbonatos de calcio y magnesio; (3) combustión de materia orgánica.

El propósito de la calcinación es para endurecer los exoesqueletos de las diatomeas con el fin de crear un mejor agente de filtrado. Mediante este proceso se consigue que el sílice amorfo que forma los exoesqueletos de las diatomeas se transforme en sílice cristalino. Sin embargo el sílice cristalino formado por la calcinación a más de 1000°C puede ser tóxico para los seres humanos y animales si se inhala. La tierra diatomácea calcinada no es usada para la alimentación animal ni en la industria alimentaria. Valores de pérdida por calcinación entre 6,190 – 23,269 %.

Tabla 8. Pérdida por calcinación.

Muestra	MT-03	MT-04	MT-06	MT-07	MT-08	MT-09	MT-10	MT-11
p. p. c. (%)	15,921	23,269	10,201	10,222	6,190	10,990	12,937	19,231
Muestra	MT-13	MT-14	MT-15	MT-16	MT-17	MT-18	MT-19	
p. p. c. (%)	13,016	12,042	10,200	8,717	11,818	11,746	10,537	

*p. p. c. *Perdida por calcinación*

3.9 CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

Mediante este análisis se pretende determinar cuantitativamente el contenido de materia orgánica dentro de las rocas, el método utilizado es el de Walkley y Black. Esta materia orgánica proviene de raíces, residuos de plantas y organismos vivientes sedimentados en el lecho del lago. Este procedimiento es un ejemplo de digestión vía humedad, en el cual la materia orgánica del suelo se digesta con $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 . El calor externo liberado por la reacción, al diluirse el H_2SO_4 ayuda al proceso de oxidación. El exceso de $K_2Cr_2O_7$ sin reducir es determinado por valoración con $FeSO_4$.

Los análisis efectuados en laboratorio no arrojaron ningún tipo de resultado; aparentemente el contenido de materia orgánica presente en las muestras es tan pequeño (traza) que la cantidad de sulfato ferroso usado durante el análisis excedió las cantidades usadas normalmente (14 – 16 ml. aproximadamente) sobrepasando los 150 ml, sin producir el viraje esperado en la titulación.

3.10 COLOR

Los colores de las muestras recolectados fueron analizados visualmente mediante la escala de colores de Munsell, la coloración de la diatomita pura es blanca, mientras variaciones amarillentas o cremas dan su color a presencia de impurezas como hierro. Los resultados se muestran resultados de laboratorio (ANEXO 19).

3.11 CARACTERIZACIÓN

El análisis químico se realizó a 4 muestras, debido a la homogeneidad de los estratos; el análisis mineralógico en la muestra MT-15 por presentar únicamente fósiles de diatomeas.

3.11.1 Química

El elemento principal de la diatomita es la sílice, compuesto que forma los esqueletos de las diatomeas. Elementos accesorios como aluminio, potasio hierro, calcio y magnesio, entre otros, pueden estar presentes en minerales arcillosos, carbonatos y óxidos de hierro. Puede considerarse una diatomita pura o casi pura entre mayor contenido de sílice tenga, sin embargo hay que tener en cuenta que el sílice no es el único elemento que componer los esqueletos de las diatomeas sino también el cuarzo.

El análisis químico (ANEXO 20) de las muestras se realizó mediante fluorescencia de rayos X para determinar el contenido de óxidos presentes en la roca total, el análisis de las muestras se lo realizó mediante la curva de calibración GEOMAJ (muestras en forma de perlas) en los laboratorios del INIGEMM.

Composición química. Los elementos en mayor cantidad identificados en las diatomitas San Cayetano (> 1 %) fueron aluminio, sílice, potasio, y hierro, como elementos en menor cantidad (0,1 y 1 %) están: sodio, magnesio, fósforo, azufre, calcio, titanio y manganeso, la muestra MT-15 que contiene únicamente diatomeas es la que mayor contenido de sílice y menor contenido de hierro presenta¹⁵.

Tabla 9. Composición química de las diatomitas San Cayetano

Elemento	Muestra, %			
	MT-08	MT-09	MT-13	MT-15
SiO ₂	67,868	69,675	68,139	71,377
TiO ₂	0,243	0,438	0,461	0,424
Al ₂ O ₃	13,807	12,848	12,632	13,031
Fe ₂ O ₃	2,931	2,236	2,850	2,141
MnO	0,075	0,015	0,015	0,029
MgO	0,404	0,727	0,707	0,641
CaO	3,358	0,200	0,079	0,091
Na ₂ O	2,126	0,450	0,259	0,128
K ₂ O	2,459	2,070	1,494	1,802
P ₂ O ₅	0,116	0,028	0,047	0,034
(SO ₃)	0,043	0,007	0,018	0,037

¹⁵ Valores de Al₂O₃ y Fe₂O₃ no deberían en su conjunto sobrepasar el 3 %.

Estableciendo una comparación de las diatomitas San Cayetano con diatomitas de diferentes partes del mundo (ANEXO 3), se puede determinar en base a los contenidos de sílice y hierro, que la calidad es de media a media baja, tomando en cuenta que una diatomita para ser considerada como buena tiene que contener más del 80 % de sílice aproximadamente.

3.11.2 Mineralógica

Mineralógicamente es el ópalo el constituyente de las frústulas de las diatomeas, además contiene minerales accesorios como cuarzo, minerales arcillosos, hematita, limonita y calcita, entre otros, los métodos de análisis pueden variar de microscopía óptica y difracción de rayos X.

Mediante la difracción de rayos X (ANEXO 21) se llega a una identificación y semicuantificación de los minerales arcillosos presentes en las diatomitas San Cayetano (Tabla 2); ya que estos cuentan como los principales contaminantes en los procesos como la filtración, dado que estos son los causantes de la pérdida de porosidad y permeabilidad.

Tabla 10. Composición mineralógica de las diatomitas San Cayetano

Mineral	Formula química	Diatomita
Cuarzo (%)	SiO ₂	20.4
Moscovita (%)	KAl ₂ ((AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂)	20.9
Ortoclase (%)	KAlSi ₃ O ₈	4.1
Berlinita (%)	Al(PO ₄)	3.3
Grupo caolinita (Caolinite, dickita, nacrita) (%)	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	20.7
Grupo plagioclasas (albita-anortita) (%)	Na (AlSi ₃ O ₈) - Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	APROX. K=6.2; D=11.6; N=2.9
Grupo esmectita (montmorillonita, nontronita, hectorita) (%)	Na _{0.2} Ca _{0.1} Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ (H ₂ O) ₁₀ Na _{0.3} Fe ³⁺ ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂ •4(H ₂ O) Na _{0.4} Mg _{2.7} Li _{0.3} Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	12.6 18.1

Análisis realizados en la muestra MT-15

Composición mineralógica. Los minerales en mayor cantidad identificados en las diatomitas San Cayetano (> 20 %) fueron cuarzo, moscovita, grupo caolinita (caolinita, dickita, nacrita), como elementos en menor cantidad (< 20 %) están: ortoclase, berlinita, grupo plagioclase (albita-anortita) y grupo esmectita (montmorillonita, hectorita).

Cuarzo: uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre, según la estructura existe: cuarzo-α y cuarzo-β. El primero puede soportar temperaturas de hasta 600 °C

aproximadamente, pasada dicha temperatura el cuarzo- α se transforma en cuarzo- β . Un aumento de temperatura sobre 800 °C transforma el cuarzo- β en tridimita.

Tabla 11. Composición mineralógica de las diatomitas de diferentes yacimientos a nivel mundial. *Lorenz y Gwosdz, 2004; Manosalvas y Naranjo, 2009; Horvat, A., Misic, M., 2004; Datos del estudio*

Mineral	Alemania (Dethlingen)	Espana (Guadalquivir)	Australia (New S. W)	Peru (Segura)	Colombia (Boyaca)	Eslovenia	Loja (Ecuador)
Opalo	44 - 72	30-78	26-74	30-60	46-80		
Cuarzo	5 - 27	7-10	1-28	10-20	3-5	14	20,4
Moscovita	-	-	-	-	-	28	20,9
Ortoclasa	1 - 6	tr	tr	0-17	Rtr-2		4,1
Berlinita	-	-	-	-	-	-	3,3
Grupo Plagioclasa	-	-	-	-	-	2	12,6
Grupo caolinita							20,7
Grupo Esmectita	0 - 1	Tr-32	4-50	0-30	8-31	7	18,1

Moscovita: presente en rocas sedimentarias inmaduras; mica transparente; colores de interferencia de segundo orden; exfoliación excelente, incoloro a verde claro, presenta un relieve moderado que puede variar con la rotación de la platina.

Ortoclasa: pertenece al grupo de los feldespatos, mineral muy común dentro de la formación de rocas

Berlinita: pertenece a los fosfatos, su medio de formación es en sitios donde ocurre alteración hidrotermal o metasomatismo mineral, a pesar de contener la misma estructura cristalina que el cuarzo la inversión térmica ocurre a menor temperatura.

Grupo Plagioclasas: albita y anortita, transparente con colores de interferencia de blanco a amarillo claro, dando un aspecto de bandas blancas o negras (luz XP), pueden ser confundidos con minerales similares, FELDESPATOS POTÁSICOS; Valor bajo de índice de refracción (1,53-1,59) y birrefringencia (0,007-0,013), ángulo $2V = 75^\circ - 90^\circ$.

Minerales de arcilla: grupo caolinita (caolinita, dickita, nacrita); grupo esmectita (montmorillonita, nontronita, hectorita), las arcillas se originan como productos finales de la meteorización y son abundantes en las rocas sedimentarias. La alteración insipiente en lámina delgada, convierte en turbios los minerales habitualmente transparentes. Vistos en lámina delgada son casi imposibles de identificar, se presentan como agregados masivos de escamas y presentan un color gris marrón a terroso, minerales como la caolinita

presenta muy baja birrefringencia. Presentan índices de refracción entre 1,5 – 1,6 por lo que su relieve es bajo.

CONCLUSIONES

- De la geología, basándose en el trabajo de campo y el análisis de los resultados obtenidos se identificó el Miembro Medio Limolitas, como una secuencia de lutitas intercaladas con capas irregulares de diatomitas, de baja calidad, y capas potentes de limolitas.
- Se puede decir que la distribución de las diatomitas varia a lo largo de toda la Formación San Cayetano, hacia la parte Norte tanto la cantidad de diatomitas como la calidad de estas es baja, hacia la parte Sur se observa claramente una mayor ocurrencia de diatomitas, formando afloramientos de más de 30 metros de potencia (Yanacocha, San Cayetano bajo) intercalado con lutitas color crema, la mayor concentración de estas rocas se dio hacia la parte Nor-oriental de la ciudad, entre la vía que conduce a Zamora y la parte posterior del estadio cerca al centro de rehabilitación. De los análisis microscópicos se llegó a identificar una mayor cantidad de espículas de esponja en relación a las diatomeas. Dicho esto se puede recalcar que las condiciones y distribución de las diatomitas es irregular encontrándose intercalada con capas de lutitas y limolitas sin formar paquetes que puedan ser considerados de buena calidad.
- Físicamente las diatomitas cumplen con los parámetros generales manteniéndose con un pesos específico de 2,39 a 2,15 gr/cm³ valores cercanos a la del sílice 2,1 gr/cm³; una porosidad abierta variante desde 36,9 hasta 96,7 %; en cuanto a las arenas contienen entre un 1,7 y 5,5 %; del análisis granulométrico se determinó que las diatomitas pertenecen a un sedimento de grano fino a medio fino.
- Los análisis químicos arrojaron resultados dando un valor promedio de CaO de 0,932 %, un bajo contenido de SiO₂, con un promedio de 69,62 % y altos contenidos de Fe₂O₃ y Al₂O₃ con promedios de 2,43 % y 13,22 % respectivamente, por lo que se puede decir de primera mano que la calidad de las diatomitas es baja, y no cumple con las especificaciones requeridas de contener más del 80 % de SiO₂ y valores sumados de Fe₂O₃ y Al₂O₃ menores al 3 %.
- Al tener un contenido menor al 3% de Fe₂O₃ pudieran ser aptas para uso filtrante, el mismo caso es aplicable al CaO que requiere contenidos menores al 0,1 %. De los

resultados obtenidos en este estudio los valores de Fe_2O_3 no exceden el 3 % sin embargo según lo mencionado anteriormente sumados a los valores de Al_2O_3 dan valores mayores al 15 %, por lo que químicamente se puede descartar el uso de estas rocas como materiales filtrantes, uso principal para el cual estas rocas son extraídas.

- Comparando con estudios anteriores se concluyó que en la ciudad de Loja existen diatomitas de baja calidad, pero debido a la falta de información, localizar estos afloramientos se volvió una tarea compleja y poco exitosa, para el muestreo se tomó en cuenta las descripciones dadas en el informe de las UN. sin llegar obtener los resultados esperados.
- Los resultados por pérdida de calcinación indican pérdidas entre el 6,19 y 13,01%, lo cual comprueba la presencia de agua higroscópica, carbonatos e indica sustancias orgánicas; mediante el ensayo de contenido de materia orgánica se llegó a determinar que los elementos orgánicos contenidos son traza.
- El contenido de minerales arcillosos aproximadamente se encuentra entre 38,8%, de los contenidos de SiO_2 se determinó un 71,377 % en la muestra más pura, de los cuales 20,4 % pertenece a cuarzo.
- Las fases mineralógicas determinadas como componente mayoritario presentan cuarzo SiO_2 20,4 %, Moscovita $\text{KAl}_2((\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2)$ 20,9 %, grupo esmectita $\text{Na}_{0.2}\text{Ca}_{0.1}\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_{10}$ - $\text{Na}_{0.3}\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$ - $\text{Na}_{0.4}\text{Mg}_{2.7}\text{Li}_{0.3}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 18,1% como componente medio grupo plagioclasas $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ - $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ 12,6 % ,y como componente traza ortoclasa KAlSi_3O_8 4,1 %, berlinita $\text{Al}(\text{PO}_4)$ 3,3 %, grupo caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ 20,7 %.
- Los fuertes pliegues, fallas, cabalgamientos e inclinación pronunciada en los estratos dan evidencia de los eventos causados durante la compresión del Mioceno Tardío, lo cual evidencia una fuerte actividad tectónica durante esta época.
- Sobre el afloramiento tipo que se encuentra en el sector de Virgen Pamba en las coordenadas 698904 – 9563587, los análisis microscópicos dieron negativo al contenido de fósiles de diatomeas, con una densidad de $2,347 \text{ gr/cm}^3$, porosidad de 43,6 %, contenido de humedad del 4,2 %, pérdida por calcinación de 29,757 %, a pesar de tener características similares a la diatomita la ausencia de fósiles dice que esta roca posiblemente puede ser de una Zeolita.

- Sobre las diatomitas San Cayetano se concluye que, su distribución dentro de la Formación San Cayetano es irregular, presentándose entre capas de lutitas y limolitas con ocurrencias esporádicas en el sector de Virgen Pamba y mayormente hacia la parte oriental prolongándose hasta el Sur-Oriente a la altura del centro de rehabilitación. Los análisis de laboratorio demuestran que las propiedades físicas cumplen con las condiciones establecidas para diatomitas al contrario de las características químicas que no se encuentran dentro de los estándares establecidos. Por lo tanto estas rocas en la condición actual no son recomendables para su extracción ni uso industrial.

RECOMENDACIONES

- Investigar sobre la posible existencia de zeolitas en el sector Virgen Pamba; existen estratos considerados como diatomitas en dicho lugar que al momento de realizar los análisis microscópicos no arrojaron ningún contenido de material fósil.
- Sobre el presente trabajo, de las diatomitas de la Formación San Cayetano se puede ampliar el campo de estudio trabajando en los fósiles de diatomeas, ya que estos al ser paleo-indicadores pueden dar pautas para obtener datos sobre el paleo-ambiente de la cuenca de Loja.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, R., 1967, Estudios geológicos de una cuenca sedimentaria de los carbones del Austro de Loja, Ecuador., Tesis no publicada, Escuela Politecnica del Litoral, Guayaquil, Map (1:43,000). p. 66.
- Barron, J.A., 1987, Diatomite-environmental and geologic factors affecting its distribution, in Hein, J.R., ed., Siliceous sedimentary rock-hosted ores and petroleum: New York, Van Nostrand Reinhold., p. 164–178.
- Bradbury, J.P., Krebs, W.N., 1995, Fossil continental diatoms; paleolimnology, evolution, and biochronology, C.D., Whalen, P.M., and Reed, K.M., convenors, Siliceous microfossils (Short Courses in Paleontology
- Brito, S., Markwich, H., 1989, Diatomita, perfil de materia prima y yacimientos en el Ecuador., Instituto Federal de Geociencias y Minería, Cooperación con Ecuador., Proyecto de Revisión de Materia Primas y Minerales No Metálicos en Ecuador, Informe Profesional., p. 126.
- Cañadas, C. L., 1983. EL Mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Quito: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Programa Nacional de Regionalización., (PRONAREG).
- Crangle, R.D., Jr., 2010, Diatomite: U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries 2010, p. 52–53. (Consulta: Noviembre 25, 2011, at <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diatomite/mcs-2010-diato.pdf>.)
- Dolley, T.P., Moyle, P.R., 2003, History and overview of the U.S. diatomite mining industry, with emphasis on the Western United States, J.D., Moyle, P.R., y Long, K.R., eds., Contributions to industrial-minerals research: U.S. Geological Survey Bulletin 2209., p. E1–E8.
- Dun, W. S., W. H. Rands, y B. A. David. 1901. Note on the occurrence of diatoms, radiolaria and infusoria in the Rolling Downs Formation (Lower Cretaceous), Queensland. Proceedings of the Linnean Society of New South Wales, 26:299-309.
- Florez, M & Lozano, G. 1999: Silicofósiles altoandinos. Universidad Nacional de Colombia – COLCIENCIAS - BID.
- F.J. PETTIJHON., Rocas Sedimentarias., Cuarta Edición., (Trad. J. Turner)., Buenos Aires., Argentina; Editorial Universitaria De Buenos Aires., 1963. p. 731. (Original en inglés, Sedimentary Rocks, Harper & Brothers, New York, 1949)
- G.W. TYRRELL., Principios De Petrología., Segunda Edición., (Trad. O. M. Becerril)., México D.F., Mexico; CIA. Editorial Continental, S. A., 1984., p. 369. (Original en ingles, The Principles of Petrology.
- Gersonde, R., y Harwood, D. M.. 1990. Lower Cretaceous diatoms from ODP Leg 133 site 693 (Weddell Sea). Part 1; vegetative cells, p. 365-402. En P. F. Baker *et al.*,

Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 113. Ocea Drilling Program, College Station, Texas.

Goso, C., Licenciatura De Geología - Facultad De Ciencias., Departamento de Evolución de Cuencas., Instituto de Ciencias Geológicas., Curso de Sedimentología., Práctico Nº 2 - Muestreo en Superficie

Harper, H. E. 1997. A lower Cretaceous (Aptian) diatom flora from Australia. *Nova Hedwigia*, 5:441

Heath, G.R., 1974, Dissolved silica and deep-sea sediments, in Hay, W.W., ed., *Studies in paleo-oceanography: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 20.*, p. 77–93.

Hernández, J., Kieselgur, Métodos de ensayo y propiedades filtrantes, el kieselguhr español y su activación., Universidad de Murcia.

Horvat, A., Misic, M., 2004. Mineralogy and sedimentology of diatomaceous sediments of Slovenia., *RMZ-Materials and Geoenvironmental.*, p. 2145-2161.

Hungerbühler D., Neogene Basins in the Andes of Southern Ecuador: evolution, deformation and regional tectonic implications., Tesis (Doctor en Ciencias Naturales)., Zúrich, Suiza., Universidad de Zúrich, 1997., p. 195.

_____, *et al.*, 2002., Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador., *Earth-Science Reviews* 57., p. 92.

Iliá, I.K., Stamatakis, M.G., Perraki, T.S., 2009, Mineralogy and technical properties of clayey diatomites from north and central Greece., *Central European Journal of Geosciences.*, p. 11

Kennerley, J.B., 1973. Geology of Loja Province, southern Ecuador. Institute of Geological Sciences (Overseas Division)., Londres. Manuscrito no publicado, p. 23, 34.

_____, Almeida, L., 1975, Mapa geológico de Ecuador, hoja de Loja (56) 1:100.000. Instituto Geográfico Militar.

Krebs. W. N. 1994. The biochronology of freshwater planktonic diatom communities in western North America, p. 485-499. EN j. p. Kociolek (ed.), *Proceedings of the 11th International Diatom Symposium*, San Francisco. *Memoirs of the California Academy of Sciences*, 17.

MACAS Leonardo., MORA Emilio., Caracterización Geológica-estructural de las Formación San Cayetano de la Hoya de Loja., Tesis (Ingeniero en Geología y Minas)., Loja, Ecuador. Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Geología y Minas, 2006., p. 114.

Moyle, P.R., Dolley, T.P., 2003, With or without salt—A comparison of marine and continental-lacustrine diatomite deposits, J.D., Moyle, P.R., y Long, K.R., eds., *Contributions to industrial-minerals research: U.S. Geological Survey Bulletin* 2209., p. D1-D11.

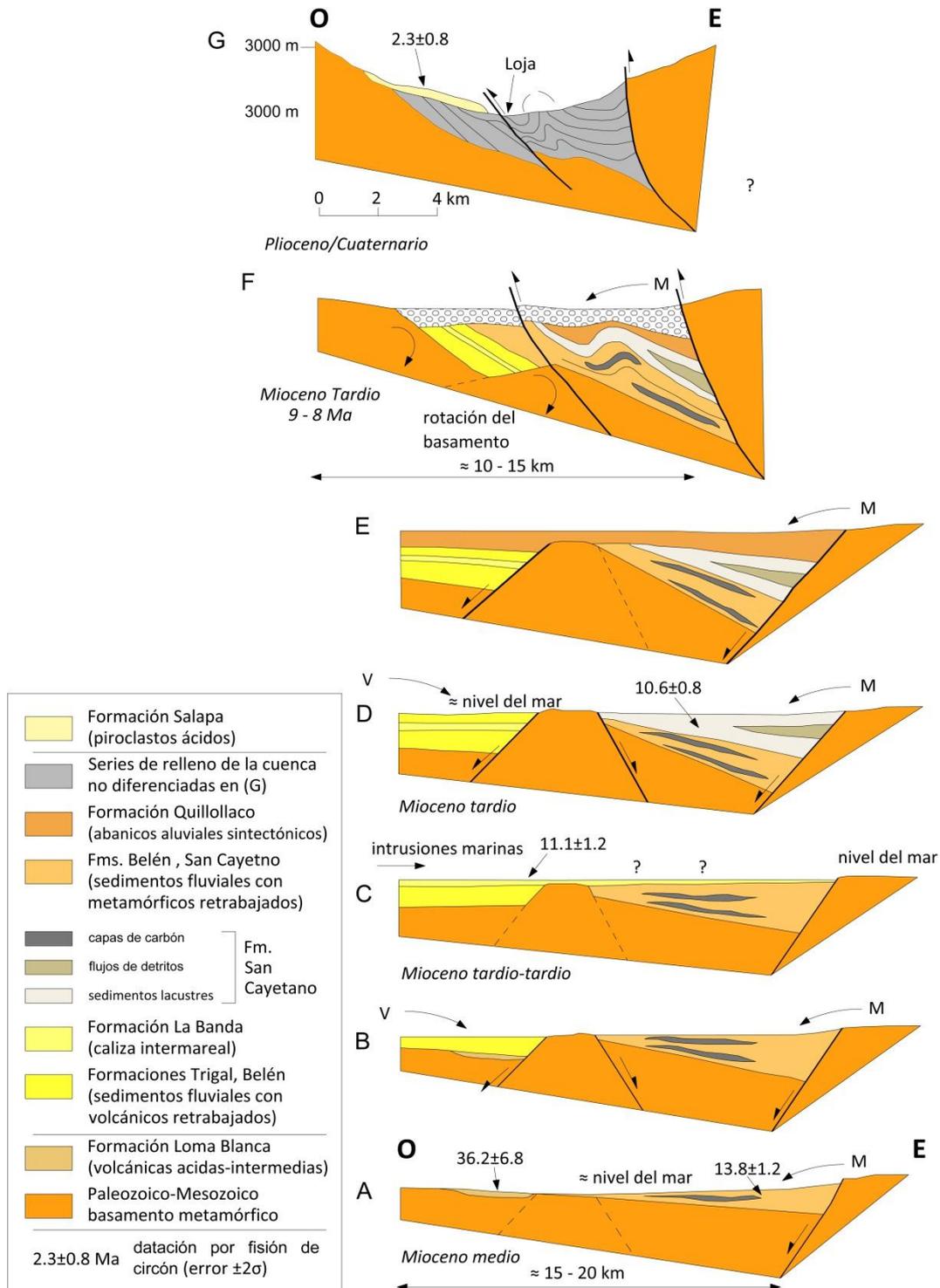
- Pilatasig, L., *et al.*, 2005, Proyecto multinacional andino:geociencias para las comunidades andinas Ecuador-Peru-Canada Dinage Ingemmet, geología de Ecuador y Perú entre 3° s y 6° s.
- Proshkina-Lavrenko, A. I. 1960. K evolyutsii diatomovykh vodoroley. Moscovkoe Obschestvo Ispytatelei Prirody Biulleten Otdel Biologicheskii, 65(5)52-62.
- Ramos, V., Egüez, H., Ladines, L., y Carrión, P., 2004, Perspectivas de la explotación y aplicación de tierra de diatomeas en la Península de Santa Elena., Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). - Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra: Revista tecnológica. Vol. 17, No.1., p. 162 -169.
- _____. Caracterización y preparación de dos muestras de diatomita para su utilización como filtros, pinturas y bloques alivianados., Tesis (Ingeniera de Minas), Guayaquil, Ecuador., Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra., 1996., p. 101.
- Rothpletz, A. 1896. Über die FLYSSCH Fucoiden und einige andere fossile Algen, sowie über liassische diatomeenführende Hornschwämme. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 48:854-914.
- _____. 1900. Über einen neuen jurassischen Hornschwamm und die darin eingeschlossenen Diatomeen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft. 52:154-160.
- Round, F.E, Mann D.G., 1990, The diatoms. Biology and Morphology of the Genera. Cambridge University Press, Cambridge. p. 747.
- Rüst, D. 1885. Beitrage xur Kenntniss del fossilen radiolarien aus Gesteinen des Jura. Palaeontographica, 31:269-322.
- S. R. MANOSALVAS. R., W. E. NARANJO. M, Diatomitas., Geología, caracterización y potencial uso industrial (Boyacá, Colombia), Sogamoso, Boyacá., Colombia; 2009., p. 67. (Colección investigación Uptc; n.º 24).
- Sierra, R., *et al.*, 1999., Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y Ecociencia. Quito, Ecuador.
- Tamay, J., 2004., Mapa geológico preliminar de la hoya de Loja., Escuela Geología y Minas, UCG-SIG/UPSI., Universidad Técnica Particular de Loja.
- Theune, C., Bellet, J (1988): aptitude of diatomaceous ore for filter aid processing – 8th “Industrial Minerals” International Congress.
- United Nations Development Programme (UNDP), 1969. Survey of metalUc and non-metalUc minerals. Coal investigations (Operation No. 1, Cuenca, BibUan and Loja). UNDP Technical Report 1 (annex 1), 59p.
- Verdeja. L. F., 1990 Características de las diatomitas de Bayovar (Peru)., Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. 29 (1990) 2, 87-93.

Wallace, A.R., 2003, Regional geologic setting of late Cenozoic lacustrine diatomite deposits, Great Basin and surrounding region—Overview and plans for investigation, J.D., Moyle, P.R., y Long, K.R., eds., Contributions to industrial-minerals research: U.S. Geological Survey Bulletin 2209., p. B1–B12.

W. SAUER., Geología del Ecuador., Primera Edición., (ed. Castellana. José Ignacio Burbano)., Quito; Talleres Gráficos del Ministerio de Educación., 1965., p. 383.

ANEXOS

ANEXO 1



Evolución Tectónica-Sedimentaria de la zona de Loja durante el Mioceno Medio al Plioceno. M= clastos metamórficos, V= clastos volcánicos. Las figuras (A) a (E) representan el desarrollo inferido para la etapa de Costa del Pacífico, lo que permitió la deposición de diferentes secuencias a nivel del mar aproximadamente en el este y el oeste del graben/graben-medio, que probablemente fueron separados por un horst de dimensiones desconocidas. (F) muestra la fase intermontana durante la compresión posterior. Fallas inversas y la rotación del basamento manejaron el conjunto tectónico conformado por el graben/graben-medio de las serie de relleno, que a su vez fue cubierta discordantemente por un secuencia intermontana (Fm. Quillolaco). La deformación compresiva y la erosión se mantuvieron hasta el Plioceno y la formación volcánica más joven conocida en el sur del Ecuador (Fm. Salapa) sello la secuencia sedimentaria (G). Hungerbühler (2002).

ANEXO 3

Composición química de las diatomitas de diferentes yacimientos a nivel mundial

Localidad	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	(SO ₃)	ppc	Suma
Lompoc, California, USA	89.7	0.1	3.72	1.09	-	0.55	0.3	0.31	0.41	0.1	-	3.7	99.98
Maryland, USA	79.55	0.7	8.18	2.62	-	1.3	0.25	1.31	-	-	-	5.8	99.71
Nevada, USA	86	0.21	5.27	2.12	-	0.39	0.34	0.24	0.29	0.06	-	4.9	99.82
Idaho, USA	89.82	0.07	1.82	0.44	-	0.54	1.26	1.03	0.22	0.13	-	4.2	99.53
Kamishlor, Ural, URRS	79.92	0.48	6.58	3.56	-	0.98	1.43	0.65	0.72	-	-	4.91	99.23
Inzenskoe, URRS	77.83	n. d.	6.12	2.22	-	1.02	0.6	n. d.	n. d.	n. d.	-	9.72	97.51
Mblerde, Dinamarca	78.41	-	11.41	5.88	-	1.03	2.52	n. d.	n. d.	n. d.	-	n. d.	99.25
Mblerde, Dinamarca	74	1	11	7	-	2	1	0.5	1.5	n. d.	-	1	99
UnterlÜB, tipo blanco RFA	89.17	0.12	1.89	3.35	-	0.22	tr	0.39	0.69	n. d.	-	7	102.83
UnterlÜB, tipo gris RFA	81.25	0.15	1.82	1.34	-	0.2	0.18	0.69	0.68	n. d.	-	13.69	100
UnterlÜB, tipo verde RFA	71.22	0.14	4.09	0.22	-	tr	tr	0.79	0.79	tr	-	21	98.25
Borovany, Checosoavaquia	80.69	0.17	5.36	0.91	-	n. d.	0.36	n. d.	n. d.	n. d.	-	5.23	92.72
Albacete, Espana	88.6	0.05	0.62	0.2	-	0.81	3	0.5	0.5	-	-	5.2	99.48
Bangolo, Italia, gris	84.64	n. d.	2.84	1.04	-	0.1	0.44	-	-	-	-	10.94	100
Klieken, tipo liviano, RDA	23	n. d.	0.08	10	-	0.2	29.7	n. d.	n. d.	n. d.	-	33.3	96.28
Soysambo, kenia	84.5	0.17	3.06	1.86	-	0.39	1.8	0.19	0.91	0.04	-	6.08	99
Argelia	58.4	0.1	1.66	1.55	-	4.57	13.8	0.96	0.5	0.2	-	17.48	99.22
Rs-Traf, Marruecos	60.75	n. d.	7-May	4-Feb	-	2-Jan	8-May	1	1	n. d.	-	n. d.	-
Chenuisi, Zimbawe	81.77	0.19	2.52	1.6	-	0.5	4.87	32	0.4	0.1	-	7.8	131.75
Rift Valley, kariandus, Kenia	87.58	0.17	2.84	1.13	-	0.19	0.87	0.33	0.45	0.01	-	4.98	98.55
Nigata Earth, Japon	86	0.22	5.8	1.6	-	0.29	0.7	0.48	0.53	0.03	-	4.4	100.05
Jalisco, México	91.2	0.16	3.2	0.7	-	0.42	0.19	0.13	0.24	0.05	-	3.6	99.89
Ayacucho, Perú	79	n. d.	7.37	1.17	-	2.01	0.88	0.85	0.62	0.04	-	n. d.	91.94
Tarucani, Perú	69.2	0.34	5.2	2.2	-	6.5	4.68	1.18	1.1	n. d.	-	n. d.	90.4
Bahía, Vitoria de Conquista, Brasil	77.8	0.52	11.9	0.52	-	0.06	0.08	0.03	0.09	n. d.	-	8.9	99.9
Ceará-Mirim, Brasil	82.2	0.19	5.1	0.31	-	0.1	0.13	0.08	0.18	n. d.	-	12.1	100.39
Maxaranguape, Mirasa, Brasil	83.3	0.18	1.58	0.31	-	0.08	0.26	0.07	0.15	n. d.	-	14.1	100.03
Ceará-Mirim, Brasil	89.2	0.02	0.67	0.11	-	0.02	0.2	0.02	0.02	n. d.	-	9.64	99.9
Natal, Gaspar, Brasil	84.6	0.1	1.55	0.08	-	0.07	0.19	0.05	0.07	n. d.	-	13.3	100.01
San Juan, Argentina 1ra. Calidad	90	0.1	1	1	-	1.4	0.4	0.7	n. d.	-	4.4	99	-
Loja, Ecuador (Brito y Markwrich)	69.675	0.438	12.848	2.236	0.015	0.727	0.200	0.450	2.070	0.028	0.007	10.990	97.819
Loja, Ecuador (estudio actual)	71.377	0.424	13.031	2.141	0.029	0.641	0.091	0.128	1.802	0.034	0.037	10.200	98.551
Loja, Ecuador (UNDP)	84.9	-	2.5	-	tr	tr	0.09	-	-	-	-	-	-
Yahuarcocha, Imbabura, Ecuador	88.27	0.07	2.1	0.25	0	0.27	0.38	0.49	0.21	0.01	0	7.69	99.74
Galte, Chimborazo, Ecuador	85.41	0.08	1.68	0.76	0.01	1.65	0.83	0.71	0.3	0.15	0.03	7.88	99.49
Sucre, Guayas, Ecuador	64.79	0.39	10.18	3.58	0.01	0.74	4.03	0.79	0.44	0.2	0	14.25	99.4



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 4

Distribución granulométrica

Muestra: MT-03

Coordenadas: 699131 - 9563128

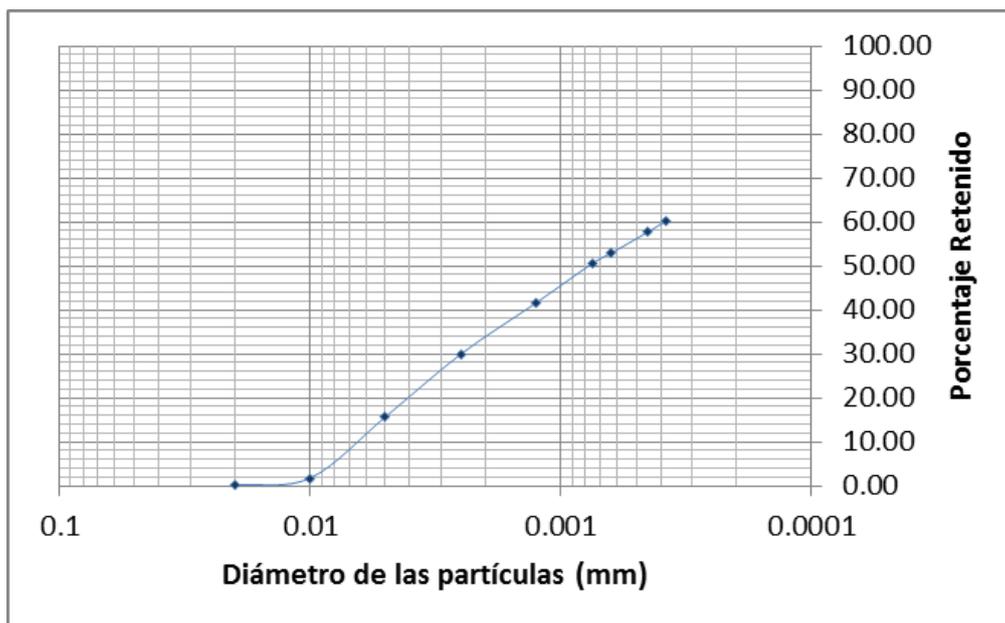
Peso inicial: 251.05 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	P. Tamiz + muestra	Peso muestra	Retenido %	% Retenido Acumulado
2	10	683.62	683.9	0.28	0.11	0.11
1	18	641.18	645.23	4.05	1.61	1.73
0.5	35	565.65	600.66	35.01	13.95	15.67
0.25	60	541.92	577.76	35.84	14.28	29.95
0.125	120	520.35	549.67	29.32	11.68	41.64
0.075	200	512.89	535.20	22.31	8.89	50.53
0.063	230	512.75	518.71	5.96	2.37	52.90
0.045	325	498.23	510.26	12.03	4.79	57.69
0.038	400	500.96	507.42	6.46	2.57	60.27
fondo		394.35	494.07	99.72	39.73	100.00
	Suma			250.98		

GRABA 0.11 %
 ARENA 52.79 %
 LIMOS 7.37 %
 ARCILLAS 39.73 %

100.00 %

COLOR 5Y 8/4
 ROCA Diatomita





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 5

Distribución granulométrica

Muestra: MT-05

Coordenadas: 698634 - 9564083

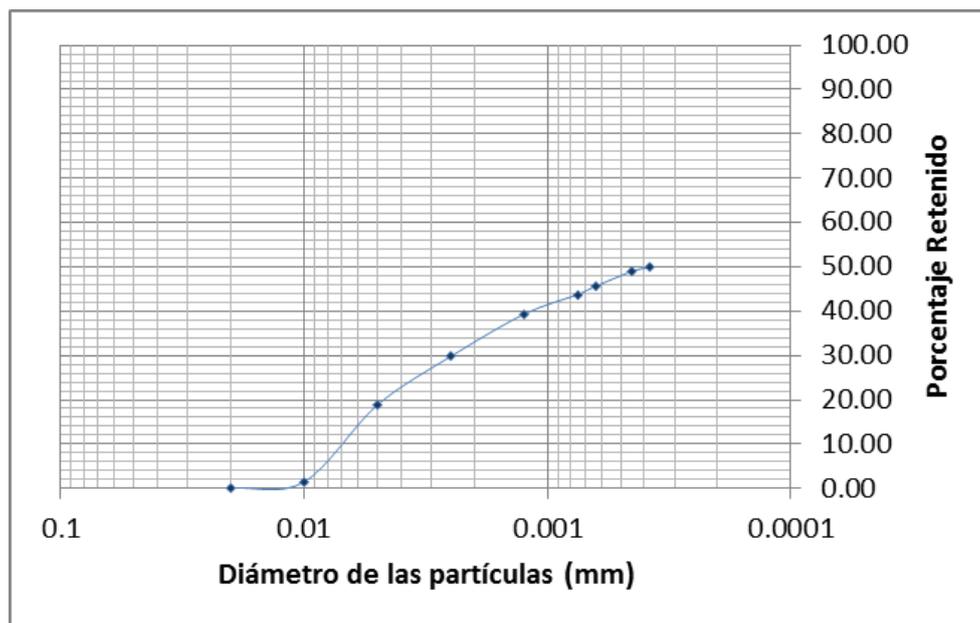
Peso inicial: 252.01 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	P. Tamiz + muestra	Peso muestra	Retenido %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	683.84	0.24	0.10	0.10
1	18	641.2	644.56	3.36	1.33	1.43
0.5	35	565.65	609.28	43.63	17.33	18.76
0.25	60	541.93	569.54	27.61	10.96	29.72
0.125	120	520.41	544.48	24.07	9.56	39.28
0.075	200	512.89	524.13	11.24	4.46	43.74
0.063	230	513.06	517.95	4.89	1.94	45.68
0.045	325	498.26	506.53	8.27	3.28	48.97
0.038	400	501	503.46	2.46	0.98	49.94
fondo		394.37	520.42	126.05	50.06	100.00
	Suma			251.82		

GRABA 0.10 %
 ARENA 45.59 %
 LIMOS 4.26 %
 ARCILLAS 50.06 %

100.00 %

COLOR 5Y 8/4
 ROCA Diatomita?





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 6

Distribución granulométrica

Muestra: MT-06

Coordenadas: 700790 - 9559228

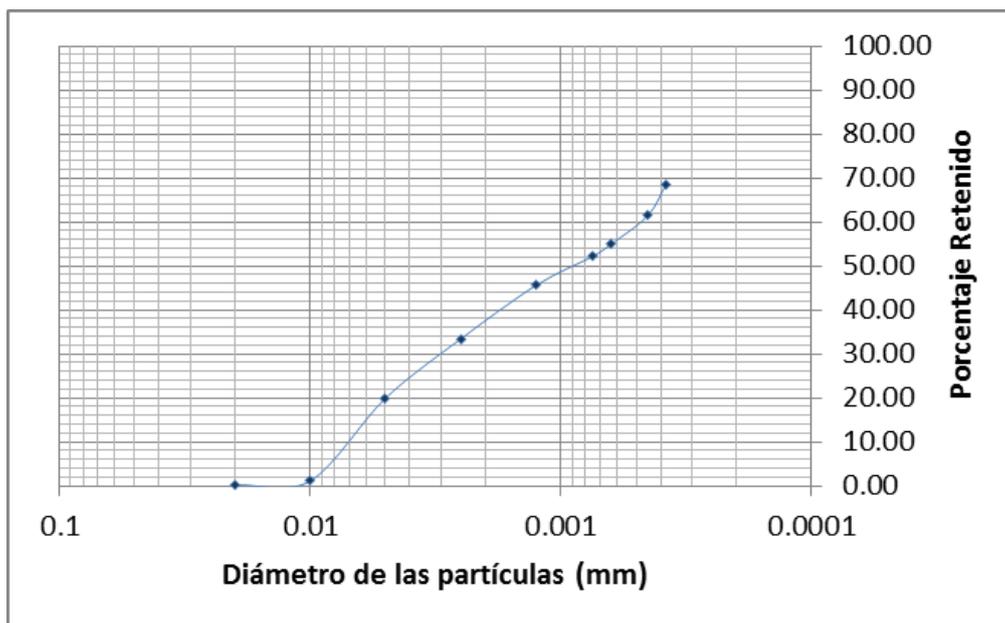
Peso inicial: 251.05 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	684	0.40	0.16	0.16
1	18	641.18	643.46	2.28	0.91	1.07
0.5	35	565.66	612.82	47.16	18.82	19.89
0.25	60	541.94	575.87	33.93	13.54	33.44
0.125	120	520.76	551.29	30.53	12.19	45.63
0.075	200	512.05	528.26	16.21	6.47	52.10
0.063	230	512.2	519.3	7.10	2.83	54.93
0.045	325	498.43	514.71	16.28	6.50	61.43
0.038	400	501.18	519.02	17.84	7.12	68.55
fondo		394.36	473.15	78.79	31.45	100.00
	Suma			250.52		

GRABA 0.16 %
ARENA 54.77 %
LIMOS 13.62 %
ARCILLAS 31.45 %

100.00 %

COLOR 5Y 8/4
ROCA Diatomita?





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 7

Distribución granulométrica

Muestra: MT-07

Coordenadas: 700890 - 9558950

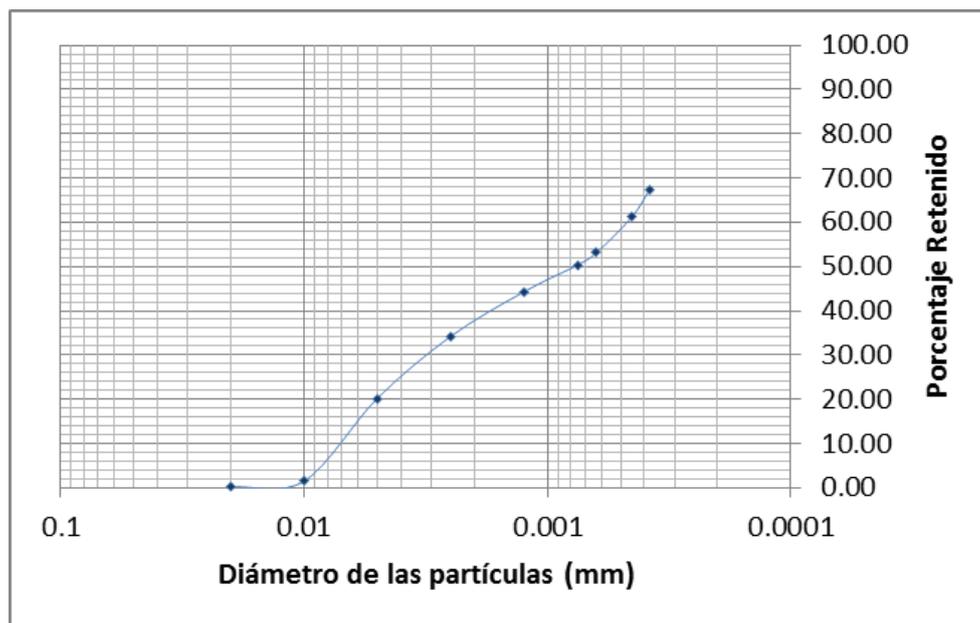
Peso inicial: 250.83 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	683.99	0.39	0.16	0.16
1	18	641.22	644.56	3.34	1.34	1.49
0.5	35	565.64	612.29	46.65	18.69	20.19
0.25	60	541.92	576.87	34.95	14.00	34.19
0.125	120	520.76	545.96	25.20	10.10	44.28
0.075	200	512.9	528.11	15.21	6.09	50.38
0.063	230	512.8	519.62	6.82	2.73	53.11
0.045	325	498.24	518.46	20.22	8.10	61.21
0.038	400	500.98	516.70	15.72	6.30	67.51
fondo		394.35	475.45	81.10	32.49	100.00
	Suma			249.59		

GRABA 0.16 %
ARENA 52.95 %
LIMOS 14.40 %
ARCILLAS 32.49 %

100.00 %

COLOR 5Y 8/4
ROCA Diatomita?





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 8

Distribución granulométrica

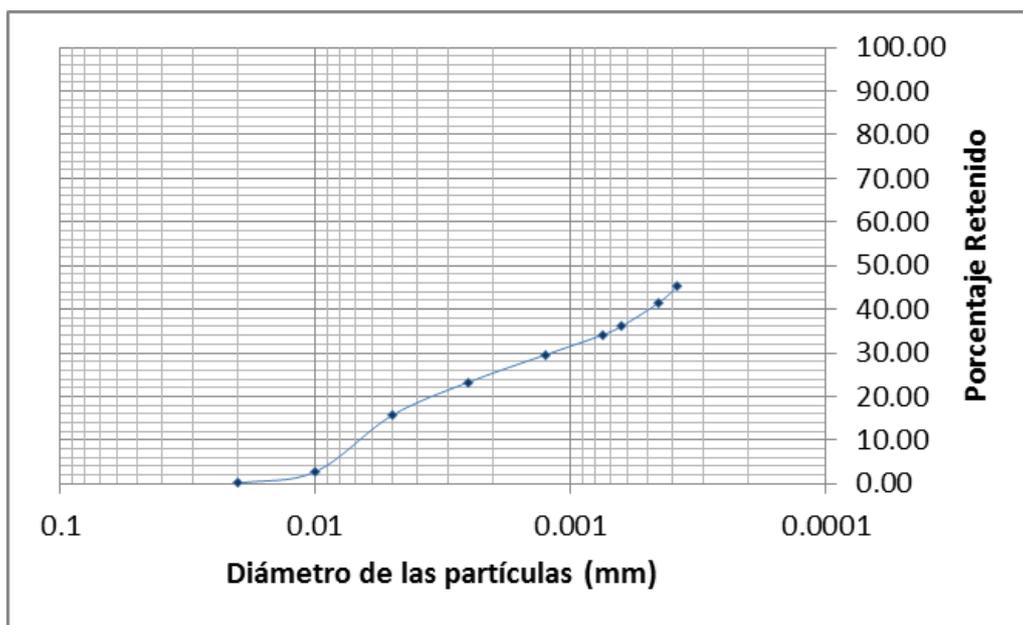
Muestra: MT-08

Coordenadas: 699791 - 9561014

Peso inicial: 251.75 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.62	684.02	0.40	0.16	0.16
1	18	641.14	647.56	6.42	2.56	2.72
0.5	35	565.64	598.12	32.48	12.94	15.66
0.25	60	541.92	561.14	19.22	7.66	23.32
0.125	120	520.34	535.99	15.65	6.24	29.55
0.075	200	512.9	524.27	11.37	4.53	34.08
0.063	230	512.78	517.75	4.97	1.98	36.07
0.045	325	498.29	511.95	13.66	5.44	41.51
0.038	400	500.98	510.26	9.28	3.70	45.21
fondo		394.35	531.87	137.52	54.79	100.00
	Suma			250.97		

GRABA	0.16	%			
ARENA	52.95	%	100.00 %	COLOR	5Y 8/4
LIMOS	14.40	%		ROCA	Diatomita
ARCILLAS	32.49	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 9

Distribución granulométrica

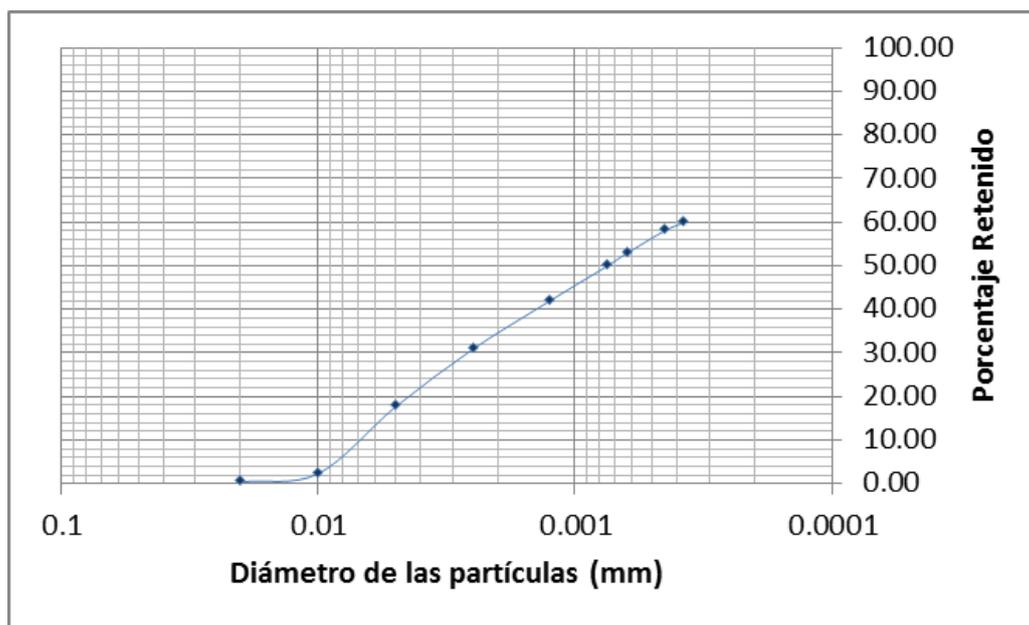
Muestra: MT-09

Coordenadas: 700668 - 9559425

Peso inicial: 252.93 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	684.66	1.06	0.42	0.42
1	18	641.18	645.96	4.78	1.89	2.31
0.5	35	565.65	604.26	38.61	15.31	17.62
0.25	60	541.9	575.23	33.33	13.21	30.83
0.125	120	520.35	548.41	28.06	11.12	41.96
0.075	200	512.88	533.00	20.12	7.98	49.93
0.063	230	512.69	519.91	7.22	2.86	52.79
0.045	325	498.2	511.2	13.00	5.15	57.95
0.038	400	500.96	505.68	4.72	1.87	59.82
fondo		394.33	495.7	101.37	40.18	100.00
	Suma			252.27		

GRABA	0.42	%			
ARENA	52.37	%	100.00 %	COLOR	5Y 8/4
LIMOS	7.02	%		ROCA	Diatomita
ARCILLAS	40.18	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 10

Distribución granulométrica

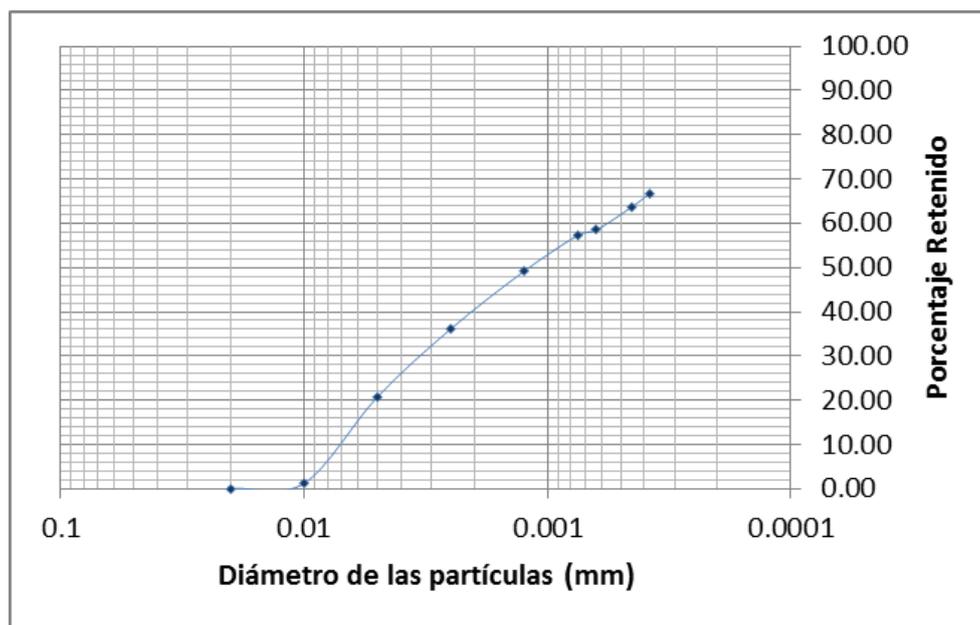
Muestra: MT-10

Coordenadas: 700591 - 9559363

Peso inicial: 251.18 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	683.79	0.19	0.08	0.08
1	18	641.18	644.05	2.87	1.15	1.22
0.5	35	565.63	614.35	48.72	19.49	20.71
0.25	60	541.9	580.35	38.45	15.38	36.09
0.125	120	520.33	552.91	32.58	13.03	49.12
0.075	200	512.08	532.48	20.40	8.16	57.28
0.063	230	512.73	515.74	3.01	1.20	58.48
0.045	325	498.2	511.24	13.04	5.22	63.70
0.038	400	500.96	508.76	7.80	3.12	66.82
fondo		394.32	477.28	82.96	33.18	100.00
	Suma			250.02		

GRABA	0.08	%			
ARENA	58.41	%	100.00 %	COLOR	5Y 8/4
LIMOS	8.34	%		ROCA	Diatomita
ARCILLAS	33.18	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 11

Distribución granulométrica

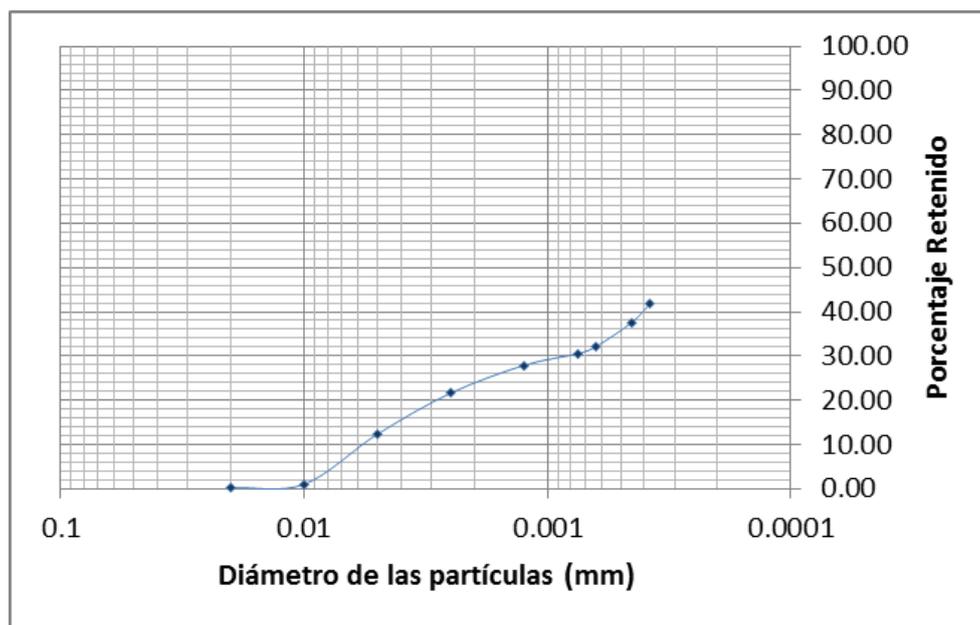
Muestra: MT-11

Coordenadas: 700491 - 9559366

Peso inicial: 250.32 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	684.26	0.66	0.26	0.26
1	18	641.2	643.08	1.88	0.75	1.02
0.5	35	565.7	593.94	28.24	11.30	12.32
0.25	60	541.89	565.14	23.25	9.30	21.62
0.125	120	520.31	535.96	15.65	6.26	27.88
0.075	200	512.91	519.59	6.68	2.67	30.55
0.063	230	512.81	516.88	4.07	1.63	32.18
0.045	325	498.34	511.98	13.64	5.46	37.64
0.038	400	501.04	511.40	10.36	4.15	41.79
fondo		394.32	539.81	145.49	58.21	100.00
	Suma			249.92		

GRABA	0.26	%			
ARENA	31.92	%	100.00 %	COLOR	5Y 8/4
LIMOS	9.60	%		ROCA	Diatomita
ARCILLAS	58.21	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 12

Distribución granulométrica

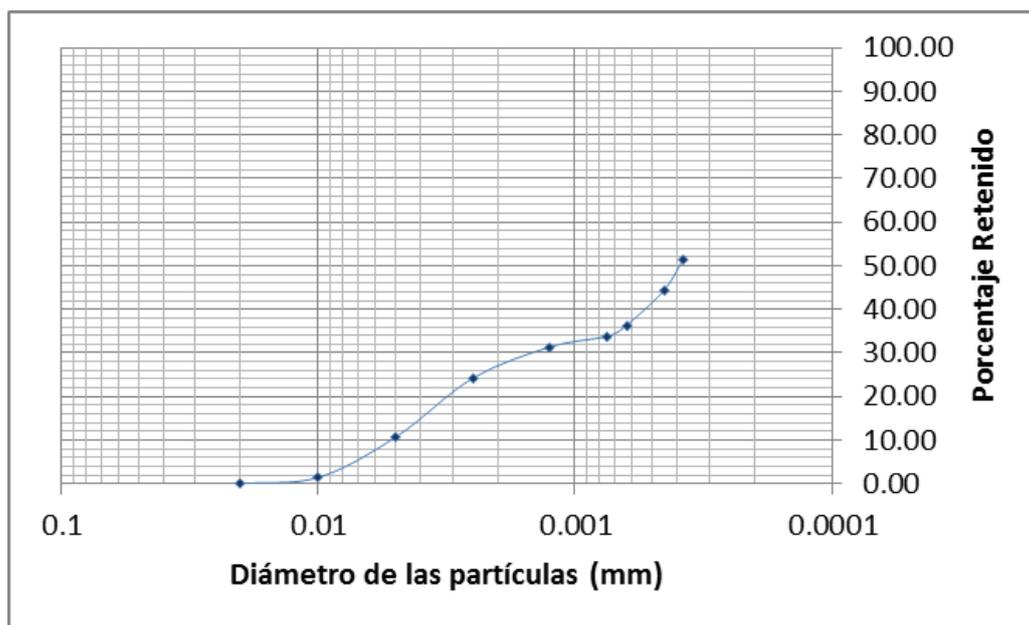
Muestra: MT-13

Coordenadas: 700458 - 9557237

Peso inicial: 251.95 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.62	683.84	0.22	0.09	0.09
1	18	641.2	644.58	3.38	1.35	1.43
0.5	35	565.65	588.75	23.10	9.21	10.64
0.25	60	541.91	575.97	34.06	13.57	24.21
0.125	120	520.35	538.30	17.95	7.15	31.37
0.075	200	512.91	519.10	6.19	2.47	33.83
0.063	230	512.75	519.08	6.33	2.52	36.36
0.045	325	498.22	518.40	20.18	8.04	44.40
0.038	400	500.99	518.47	17.48	6.97	51.36
fondo		394.34	516.38	122.04	48.64	100.00
	Suma			250.93		

GRABA	0.09	%			
ARENA	36.27	%	100.00 %	COLOR	5Y 8/4
LIMOS	15.01	%		ROCA	Diatomita?
ARCILLAS	48.64	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 13

Distribución granulométrica

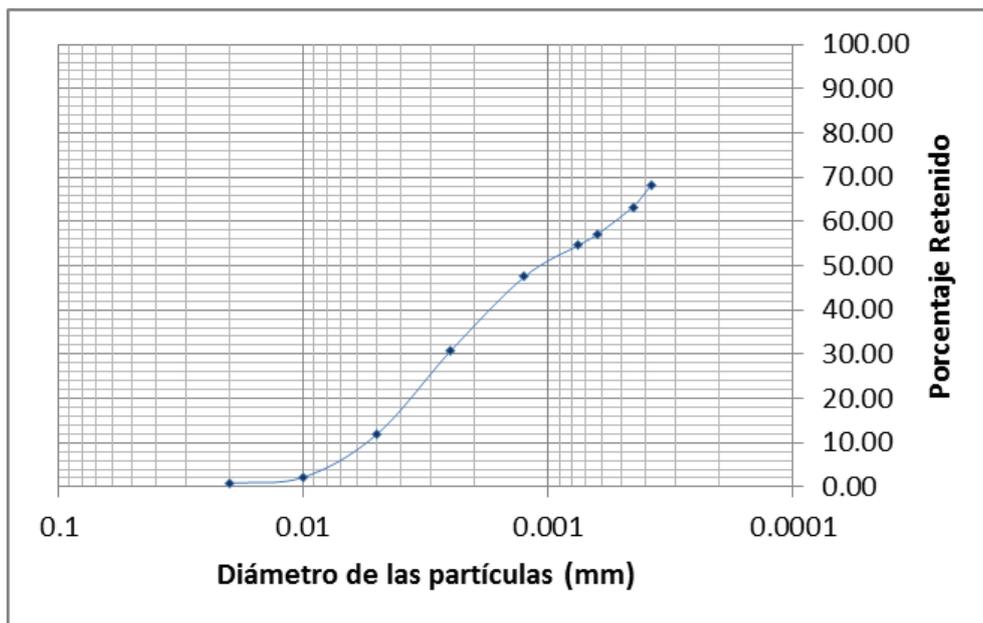
Muestra: MT-14

Coordenadas: 700737 - 9557222

Peso inicial: 251.63 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	685.76	2.16	0.86	0.86
1	18	641.18	644.50	3.32	1.33	2.19
0.5	35	565.65	589.92	24.27	9.70	11.89
0.25	60	541.89	589.06	47.17	18.85	30.74
0.125	120	520.33	562.24	41.91	16.75	47.48
0.075	200	512.89	530.76	17.87	7.14	54.62
0.063	230	512.73	518.86	6.13	2.45	57.07
0.045	325	498.2	513.81	15.61	6.24	63.31
0.038	400	500.97	513.12	12.15	4.85	68.17
fondo		394.34	474.01	79.67	31.83	100.00
	Suma			250.26		

GRABA	0.86	%			
ARENA	56.21	%	100.00 %	COLOR	5Y 8/4
LIMOS	11.09	%		ROCA	Diatomita
ARCILLAS	31.83	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 14

Distribución granulométrica

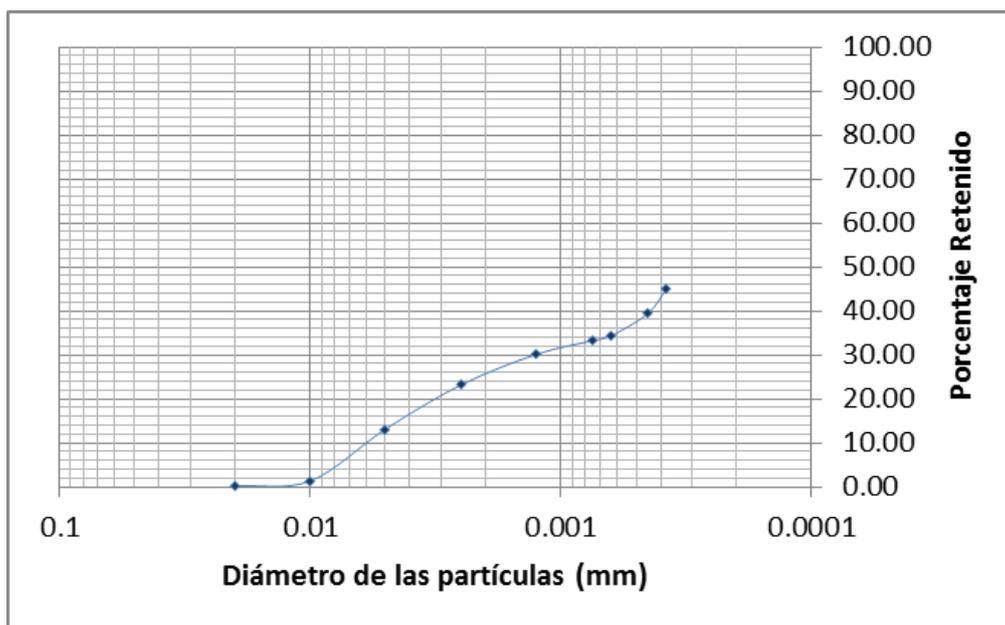
Muestra: MT-15

Coordenadas: 700796 - 9558176

Peso inicial: 251.18 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.62	684.04	0.42	0.17	0.17
1	18	641.2	644.02	2.82	1.12	1.29
0.5	35	565.64	595.28	29.64	11.81	13.10
0.25	60	541.91	567.15	25.24	10.06	23.16
0.125	120	520.34	537.80	17.46	6.96	30.12
0.075	200	512.89	520.60	7.71	3.07	33.19
0.063	230	512.74	515.58	2.84	1.13	34.32
0.045	325	498.23	510.90	12.67	5.05	39.37
0.038	400	500.98	514.87	13.89	5.54	44.91
fondo		394.33	532.58	138.25	55.09	100.00
	Suma			250.94		

GRABA	0.17	%			
ARENA	34.16	%	100.00 %	COLOR	5Y 8/4
LIMOS	10.58	%		ROCA	Diatomita
ARCILLAS	55.09	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 15

Distribución granulométrica

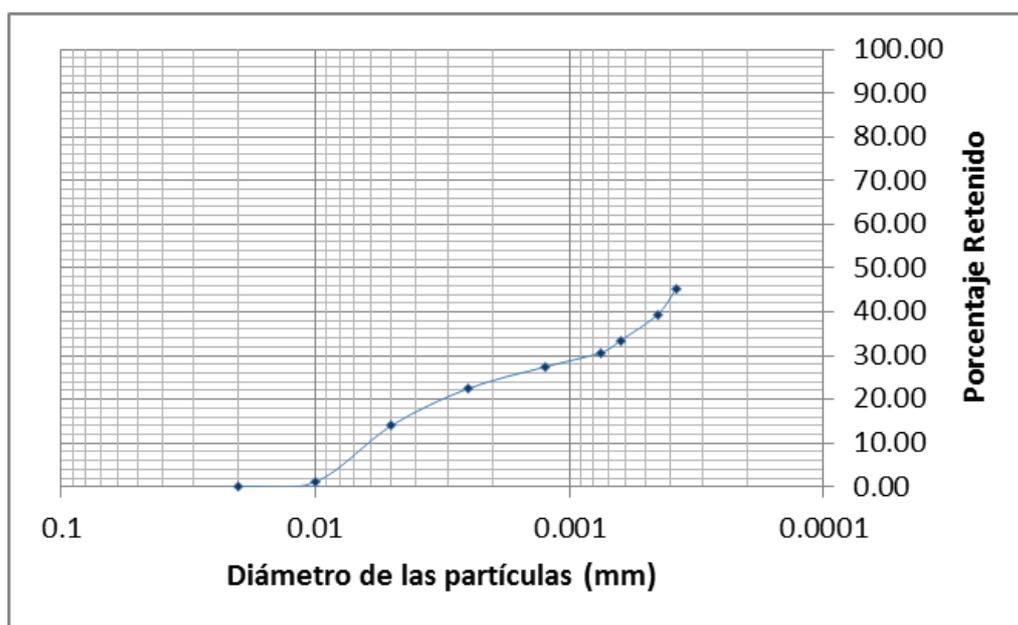
Muestra: MT-16

Coordenadas: 700370 - 9557284

Peso inicial: 250.90 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	684.00	0.40	0.16	0.16
1	18	641.2	643.49	2.29	0.92	1.08
0.5	35	565.7	598.00	32.30	12.94	14.02
0.25	60	541.89	563.00	21.11	8.46	22.48
0.125	120	520.31	532.62	12.31	4.93	27.41
0.075	200	512.91	521.14	8.23	3.30	30.70
0.063	230	512.81	519.56	6.75	2.70	33.41
0.045	325	498.34	513.20	14.86	5.95	39.36
0.038	400	501.04	515.78	14.74	5.91	45.27
fondo		394.32	530.94	136.62	54.73	100.00
	Suma			249.60		

GRABA	0.16	%			
ARENA	33.25	%	100.00 %	COLOR	5Y 8/4
LIMOS	11.86	%		ROCA	Diatomita?
ARCILLAS	54.73	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 16

Distribución granulométrica

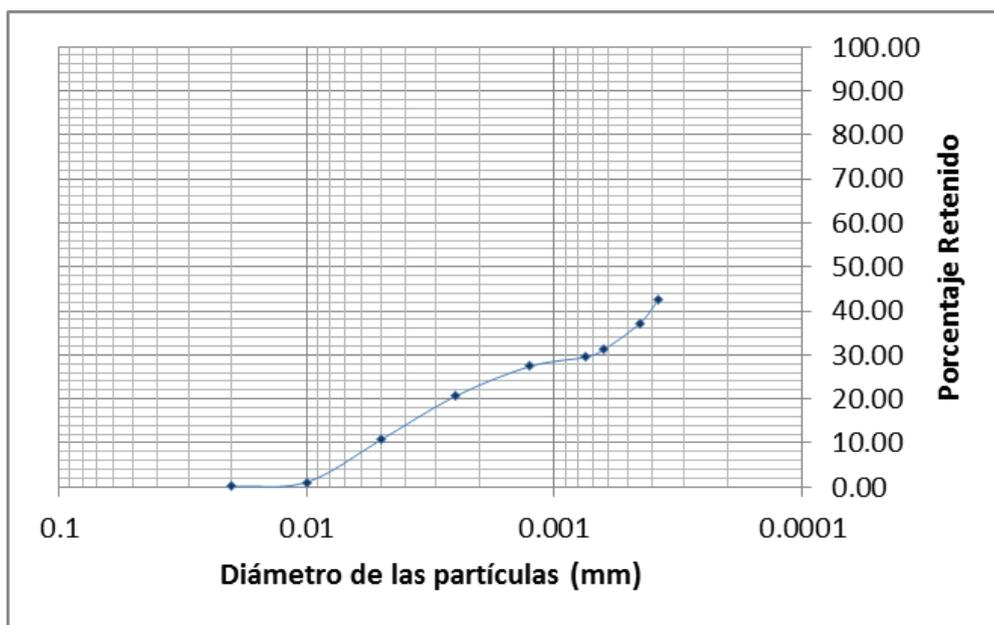
Muestra: MT-17

Coordenadas: 699798 - 9561825

Peso inicial: 250.83 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	683.91	0.31	0.12	0.12
1	18	641.2	643.59	2.39	0.95	1.08
0.5	35	565.66	589.85	24.19	9.65	10.73
0.25	60	541.93	566.78	24.85	9.92	20.64
0.125	120	520.36	537.29	16.93	6.75	27.40
0.075	200	512.9	518.10	5.20	2.07	29.47
0.063	230	512.76	517.08	4.32	1.72	31.20
0.045	325	498.21	513.20	14.99	5.98	37.18
0.038	400	500.95	514.18	13.23	5.28	42.46
fondo		349.34	493.56	144.22	57.54	100.00
	Suma			250.63		

GRABA	0.12	%			
ARENA	31.07	%	100.00 %	COLOR	5Y 8/4
LIMOS	11.26	%		ROCA	Diatomita?
ARCILLAS	57.54	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 17

Distribución granulométrica

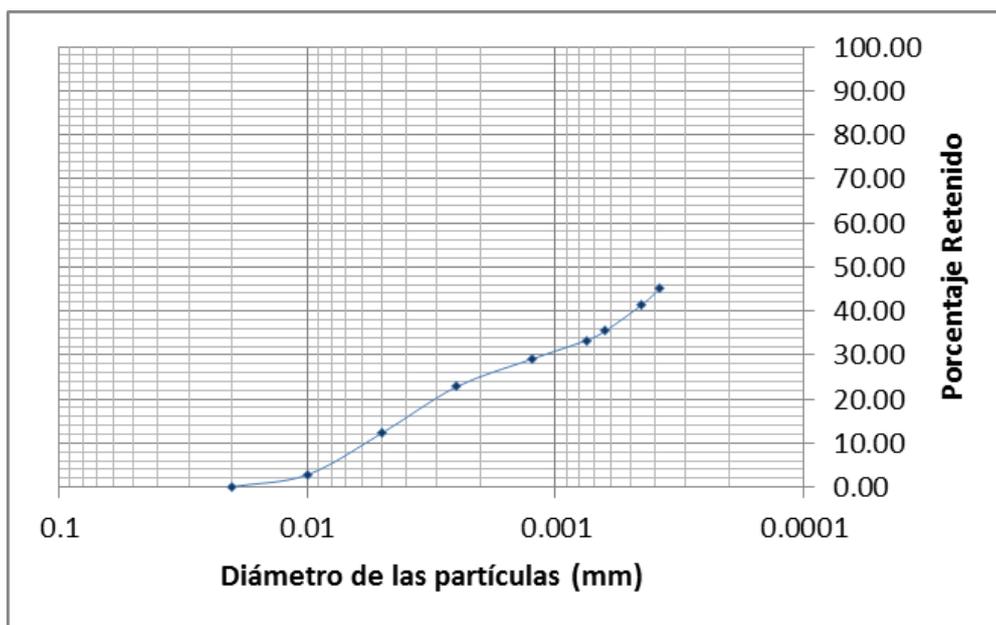
Muestra: MT-18

Coordenadas: 700513 - 9557793

Peso inicial: 250.58 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	684.01	0.41	0.16	0.16
1	18	641.2	647.84	6.64	2.65	2.82
0.5	35	565.65	589.39	23.74	9.49	12.30
0.25	60	541.91	568.24	26.33	10.52	22.82
0.125	120	520.33	535.92	15.59	6.23	29.05
0.075	200	512.84	523.58	10.74	4.29	33.35
0.063	230	512.7	518.02	5.32	2.13	35.47
0.045	325	498.22	512.97	14.75	5.89	41.36
0.038	400	500.95	510.14	9.19	3.67	45.04
fondo		394.31	531.86	137.55	54.96	100.00
	Suma			250.26		

GRABA	0.16	%		COLOR	5Y 8/4
ARENA	35.31	%	100.00 %	ROCA	Diatomita?
LIMOS	9.57	%			
ARCILLAS	54.96	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 18

Distribución granulométrica

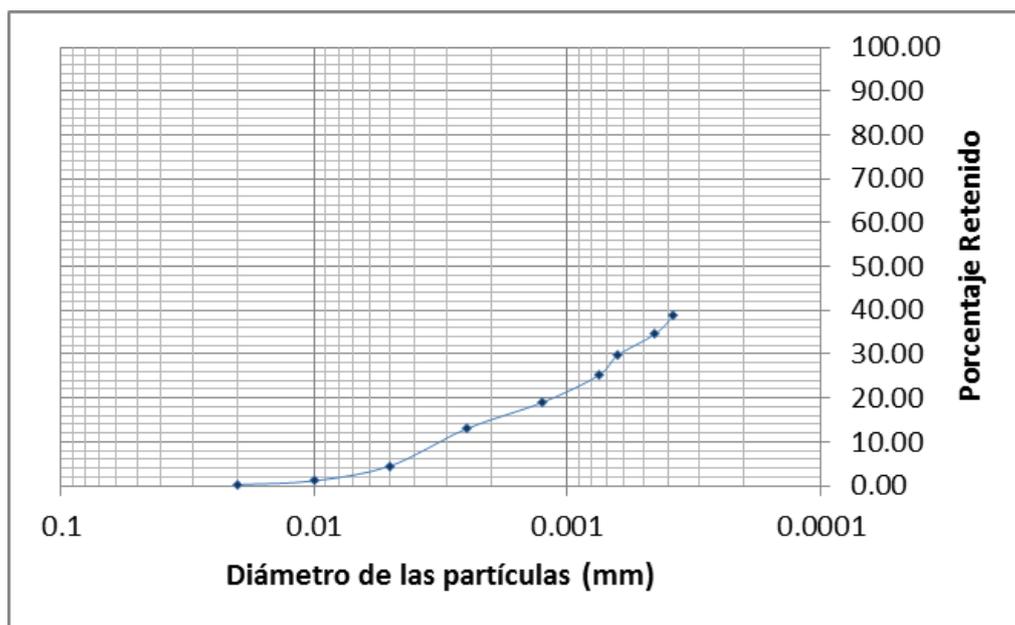
Muestra: MT-19

Coordenadas: 700531 - 9557737

Peso inicial: 250.79 gr.

mm	TAMIZ ASTM	Peso tamiz	Peso muestra	P. Tamiz + muestra	Peso %	Retenido Acumulado %
2	10	683.6	684.21	0.61	0.24	0.24
1	18	641.18	643.3	2.12	0.85	1.09
0.5	35	565.66	574.17	8.51	3.40	4.49
0.25	60	541.93	563.13	21.20	8.47	12.96
0.125	120	520.36	535.49	15.13	6.04	19.00
0.075	200	512.87	528.28	15.41	6.16	25.16
0.063	230	512.67	524.14	11.47	4.58	29.74
0.045	325	498.23	510.26	12.03	4.81	34.54
0.038	400	500.97	511.40	10.43	4.17	38.71
fondo		394.31	547.75	153.44	61.29	100.00
	Suma			250.35		

GRABA	0.24	%			
ARENA	29.49	%	100.00 %	COLOR	5Y 8/4
LIMOS	8.97	%		ROCA	Diatomita?
ARCILLAS	61.29	%			





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

Caracterización de las diatomitas de la Formación San Cayetano (Loja - Ecuador)

ANEXO 19

Color

Litología	Muestra	Color
	MT-03	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-04	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-06	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-07	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-08	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-09	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-10	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-11	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado

Litología	Muestra	Color
	MT-13	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-14	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-15	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-16	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-17	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-18	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado
	MT-19	5Y 8/4 Naranja a Rosa Moderado

Nota: las imágenes representadas en el anexo 19, fueron tomadas de las muestras analizadas, sin embargo la iluminación (luz blanca) distorsionó el color verdadero ocasionando un cambio de tonalidades en la imagen final.



GOBIERNO NACIONAL DE
LA REPÚBLICA DEL ECUADOR



INIGEMM
Instituto Nacional de Investigación
Geológica y Minero Metalúrgica
POSIBILIDAD DEL RECURSO

LABORATORIO DEL INIGEMM

REPORTE DE RESULTADOS

CLIENTE: LEONARDO TELLO
ORDEN DE TRABAJO: 025-20121217
FECHA DE RECEPCIÓN: 17/12/2012
FECHA DE REPORTE: 21/12/2012

ANÁLISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

MUESTRA	Na2O (%)	MgO (%)	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	P2O5 (%)	SO3 (%)	K2O (%)	CaO (%)	TiO2 (%)	Mn2O3 (%)	Fe2O3 (%)	PPC (%)
MT-08	2,126	0,404	13,807	67,868	0,116	0,043	2,459	3,358	0,243	0,075	2,931	6,190
MT-09	0,450	0,727	12,848	69,675	0,028	0,007	2,070	0,200	0,438	0,015	2,236	10,990
MT-13	0,259	0,707	12,632	68,139	0,047	0,018	1,494	0,079	0,461	0,015	2,850	13,010
MT-15	0,128	0,641	13,031	71,377	0,034	0,037	1,802	0,091	0,424	0,029	2,141	10,200

Observaciones: Las muestras fueron analizadas con la curva de calibración GEOMAJ (muestras en forma de perlas).



GOBIERNO NACIONAL DE
LA REPÚBLICA DEL ECUADOR



INIGEMM
Instituto Nacional de Investigación
Geológica y Minero Metalúrgica
RESPONSABLE DEL RECURSO

LABORATORIO DEL INIGEMM

REPORTE DE RESULTADOS

CLIENTE: Leonardo Tello
ORDEN DE TRABAJO: 025-20130301
FECHA DE RECEPCIÓN: 04/03/2013
FECHA DE REPORTE: 07/03/2013

ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

MINERAL	FORMULA QUÍMICA	DIATOMITA
CUARZO (%)	SiO ₂	20.4
MOSCOVITA (%)	KAl ₂ ((AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂)	20.9
ORTOCLASA (%)	KAlSi ₃ O ₈	4.1
BERLINITA (%)	Al(PO ₄)	3.3
GRUPO CAOLINITA (KAOLINITE, DICKITE, NACRITE) (%)	Al ₂ Si ₂ O ₇ (OH) ₄	20.7
GRUPO PLAGIOCLASAS (ALBITA-ANORTITA) (%)	Na (AlSi ₃ O ₈) - Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	APROX. K=6.2; D=11.6; N=2.9
GRUPO ESMECTITA (MONTMORILLONITA, NONTRONITA, HECTORITA)	Na _{0.2} Ca _{0.1} Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ (H ₂ O) ₁₀ Na _{0.3} Fe ³⁺ ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂ •4(H ₂ O) Na _{0.4} Mg _{0.2} Li _{0.3} Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	12.6 18.1

Observaciones: - Concentraciones de minerales menores al 1% son solo orientativas.
- Se recomienda realizar análisis especializado de ARCILLAS, FELDSPATOS Y ESMECTITAS (marcha analítica) para separar a los grupos respectivos y definir su concentración.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO

ANEXO 22

Triturado

Introducción

La trituración pretende procesar las rocas produciendo como resultado un material con menor tamaño que el original.

Objetivo

Mediante el triturado obtener una granulometría fina que pueda ser usada en los diferentes ensayos y análisis.

Fundamento

Las trituradoras son dispositivos usados para reducir el tamaño de las rocas empleando la fuerza, mediante la cual se reduce la roca en fragmentos de volúmenes más pequeños que el original.

Materiales y equipo

Trituradora
Estufa
Recipiente pirex

Método de trabajo

1. Colocar la muestra a triturar en el recipiente pírex y llevar a la estufa por un lapso de 24 horas a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Pasado este tiempo, retirar la muestra de la estufa y dejar reposar por 10 minutos.
3. Poco a poco ir agregando el material a la trituradora.
4. Terminado el triturado, desconectar la trituradora y con un soplete de aire comprimido limpiarla para evitar la contaminación cruzada del material.

Al momento de empezar tener en cuenta que no podemos triturar toda la muestra al mismo tiempo sino se causaría un atasco, introducir pedazos pequeños de a poco.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ANEXO 23

Examen microscópico

Introducción

Le presencia de diatomeas en materiales de origen desconocidos puede ser determinada únicamente mediante examen microscópico. Muchas formas de diatomeas pueden identificarse únicamente con aumento de 200 diámetros.

Objetivo

Afirmar o descartar el contenido de diatomeas fósiles en muestras de roca.

Fundamento

Mediante el examen microscópico se puede llegar a identificar a nivel taxonómica las diatomeas, además revela la presencia de fragmentación en las diatomeas y sirve para estimar la proporción de ciertas impurezas minerales de grano grueso (cuarzo, feldespato, minerales pesados, etc.).

Materiales y equipo

Espátula
Tubo de ensayo
Agua destilada
Porta objetos
Cubre objetos
Pipeta
Aceite de inmersión
Muestra a analizar

Método de trabajo

1. Fracturar la muestra de roca dejando al descubierto su interior, obteniendo así material fresco sin contaminación.
2. Con una espátula se raspa suavemente la superficie fragmentada liberando partículas de roca, las cuales van ser depositadas dentro de un tubo de ensayo.
3. Agrega agua destilada al tubo con la muestra hasta la mitad, y agitar por 5 minutos aproximadamente, para liberar la mayor cantidad de diatomeas del sedimento restante.
4. Dejar reposar un minuto aproximadamente y con la pipeta tomar un poco de la suspensión y colocarla sobre el portaobjetos, con la ayuda de la pipeta distribuir la suspensión a lo largo de toda la superficie.
5. Dejar evaporar el agua ya sea naturalmente o llevar las muestra a una estufa con temperatura media baja.
6. Una vez que el agua se ha eliminado en su totalidad agregar una gota de aceite de inmersión y se coloca el cubreobjetos.
7. Espera hasta notar que el aceite ha terminado de esparcirse a lo largo de la lámina y se sella los bordes con laca transparente, esto con el fin de conservar por más tiempo el aceite dentro de la lámina.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ANEXO 24

Contenido de humedad

Introducción

El contenido de humedad natural se lo expresa en porcentaje y es la cantidad de agua que pierde la roca al ser llevada al horno a una temperatura de $(110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C})$.

Objetivo

Determinar el contenido natural de humedad contenido en la roca.

Fundamento

Mediante diferencia de peso se determina el contenido de humedad, la humedad en una roca influye en las propiedades físicas como peso, densidad y conductividad eléctrica.

Materiales y equipo

Estufa

Balanza analítica

Recipiente pírrex

Desecador

Método de trabajo

1. En caso que la muestra a trabajar sea demasiado grande, proceder a fragmentarla y tomar una parte de esta. (Opcional)
2. Pesar la muestra balanza electrónica y anotar la lectura como **A=...g**.
3. Llevar al horno por un lapso de 24 horas, con el fin de eliminar la mayor cantidad de agua posible. (en algunos casos los valores de agua contenida en los poros cerrados únicamente son eliminados mediante la calcinación)
4. Una vez transcurrido este el tiempo señalado, sacar del horno, colocar en un desecador, por un lapso de una hora.
5. Pesar nuevamente la muestra, y anotar el resultado **B=...g**.

Cálculos

$$\text{Contenido de humedad} = B - A$$

Expresar el resultado en porcentaje (%)



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ANEXO 25

Densidad aparente

Introducción

La densidad aparente es el peso de 1 ml de diatomita incluyendo los poros cerrados por el armazón de las diatomeas individuales y los intersticios o poros que quedan sin llenar entre dichas diatomeas.

Objetivo

Determinar la densidad aparente de las diatomitas mediante el método del parafinado.

Fundamento

Dicha densidad depende de la aglomeración más o menos imperfecta de las frústulas, la densidad aparente es siempre menor a la unidad, esto se debe a que el esqueleto de las diatomeas ocupa siempre una parte del espacio de la verdadera masa, pues cada caparazón encierra multitud de huecos que se encuentran llenos de aire.

Materiales y equipo

Cortadora de roca

Balanza analítica

Espátula

Hilo de algodón

Parafina

Hornilla electrónica

2 Vasos de precipitación

Agua

Método de trabajo

1. Cortar la roca en pequeños cubos de 0.015 por 0.015 m.
2. Con la ayuda de la espátula suavemente raspar la superficie de los cubos en caso que estas presenten alguna irregularidad, hasta dejar sus caras totalmente lisas.
3. Cuidadosamente pesar la muestra en la balanza y anotar el resultado **A=...g**.
4. Colocar la parafina en el vaso de precipitación llevarlo a la hornilla eléctrica, dejar calentar y esperar hasta que la cera esté derretida.
5. Amarrar a la muestra con el hilo sin causarle daño alguno, y luego sumergirla en la parafina teniendo cuidado que no queden burbujas de aire encerradas entre la muestra y la parafina, repetir el procedimiento hasta notar que la muestra esté cubierta de cera en su totalidad
6. Proceder a pesar la muestra con cera, y anotar **B=...g**.
7. Colocar la muestra con el hilo en la parte inferior de la balanza y pesar la muestra ahora suspendida en agua, y anotamos **C=...g**.

Cálculos

$$\text{Densidad aparente} = \frac{1}{\frac{(B - C)}{1} - \frac{(B - A)}{0.9}}$$



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ANEXO 26

Porosidad

Introducción

La porosidad está en relación directa con los procesos industriales; como base fundamental en los procesos de filtración de bebidas, donde tiene su principal aplicación.

Objetivo

Mediante el método de la pesa hidrostática, determinar la porosidad abierta de las diatomitas.

Fundamento

En la porosidad están involucrados dos valores (1) el volumen de los diminutos huecos formados por los caparazones de las diatomitas individuales y (2) el volumen existente entre dichos caparazones originado por la aglomeración de los mismos.

Una diatomita alcanza grandes valores de porosidad cuando los esqueletos que la conforman se encuentran enteros y las cavidades de los mismos no están obstruidas por impurezas.

Materiales y equipo

Cortadora de rocas
Balanza analítica

Vaso de precipitación
Hilo de algodón

Método de trabajo

1. Cortar la roca en pequeños cubos de 0.015 por 0.015 m.
2. Con la ayuda de la espátula suavemente raspar la superficie de los cubos en caso que estas presenten alguna irregularidad, hasta dejar sus caras totalmente lisas.
3. Cuidadosamente pesar la muestra en la balanza y anotar el resultado **A=...g.**
4. Sumergir la muestra en el vaso de precipitación lleno de agua por 24 horas para saturarla y llenar la mayor cantidad de poros con agua, anotar el resultado como **B=...g.**
5. Colocar la muestra con el hilo en la parte inferior de la balanza y pesar la muestra suspendida en agua, y anotar **C=...g.**

Cálculos

$$\text{Volumen de poros (D)} = B - A$$

$$\text{Volumen aparente (E)} = B - C$$

$$\text{Porosidad} = \frac{D - E}{100}$$



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ANEXO 27

Granulometría

Introducción

Mediante el análisis granulométrico se determina la distribución porcentual de los distintos tamaños de partículas de una muestra

Objetivo

Descripción y granulometría de la muestra de diatomita

Fundamento

Las granulometrías son de extrema importancia como medida de control para los procesos de reducción de tamaño (grado de molienda) al que debe sujetarse el material, con el objetivo de tener el mayor porcentaje de diatomeas completas, ya que esta es una de las principales características sobre el poder de filtración.

Materiales y equipo

Balanza analítica
Recipiente de metal
Serie de tamices ASTM
Brocha

Método de trabajo

1. Limpiar bien cada tamiz, y pesarlos en la balanza electrónica, anotar como **A=...g**.
2. Colocar sobre la balanza electrónica el recipiente de metal y encerrar.
3. Agregar la muestra y pesar 250 gr. y anotar el resultado
4. Colocar la muestra en la serie de tamices, y con cuidado pasar la brocha en movimientos circulares por todo el tamiz hasta que notemos que el material dejó de pasar a la serie siguiente.
5. Una vez finalizado, llevar a la balanza electrónica el tamiz con la muestra, pesar y anotar el resultado **B=...g**.
6. Repetir estos pasos para cada tamiz de la serie.

Cálculos

$$\text{Peso de la muestra (C)} = B - A$$

Peso de la muestra total es la sumatoria de los resultados de las muestras parciales de cada tamiz (D)

$$\text{Porcentaje del peso} = \frac{C \times 100}{D}$$

Retenido acumulado es la suma de los porcentajes del peso, el resultado es igual al 100%



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ANEXO 28

Densidad real

Introducción

La densidad es una magnitud que relaciona un volumen y la cantidad de masa que este contiene.

Objetivo

Determinar la gravedad específica de fragmentos de minerales o de minerales en polvo.

Fundamento

La determinación de la densidad real es muy importante, ya que las rocas y minerales tienen densidades conocidas.

Materiales y equipo

Espátula
Recipiente de aluminio
Balanza analítica
Picnómetro
Agua destilada
Papel absorbente

Método de trabajo

1. Pesarse aproximadamente 10 g. de muestra en un recipiente de aluminio, previamente desecada.
2. Pesarse el picnómetro con su tapa en la balanza electrónica y anotar como **A=...g.**
3. Remover la Tapa del picnómetro y agregar la muestra pesada anteriormente, colocar la tapa y pesarse nuevamente, anotar el resultado como **B=...g.**
4. Remover la tapa y agregar agua destilada al picnómetro, seguidamente colocar la tapa nuevamente y asegurarse que tanto el picnómetro como la capilaridad fina alojada en la tapa se encuentren llenos de agua.
5. Con mucho cuidado secar el picnómetro y pesarse, anotar el resultado como **C=...g.**
6. Lavar el picnómetro y esta vez llenarlo únicamente con agua destilada, colocar la tapa y pesarse, anotar el resultado como **D=...g.**

Cálculos

$$\text{Gravedad específica} = \frac{B - A}{(B + D) - (A + C)}$$



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ANEXO 29

Contenido de arena

Introducción

En una cuenca sedimentaria el aporte de materiales es constante, el tipo de rocas que se forman pueden contener en mayor o menor grado impurezas como arenas.

Objetivo

Determinar el contenido de arena mediante levigación.

Fundamento

La cantidad de impurezas que contienen una roca determina su calidad, entre estas están las arenas que al estar formadas por fragmentos de minerales de diferentes tamaños afectan directamente la calidad.

Materiales y equipo

Balanza analítica	Pipeta
Tubo de ensayo	Estufa
Vaso de precipitación	

Método de trabajo

1. Pesar el tubo de ensayo en la balanza y anotar el resultado como **A=...g.**
2. Pesar en la balanza electrónica una cantidad de muestra X, y anotar el resultado como **B=...g.**
3. Agregar la muestra al tubo de ensayo y enseguida agregar agua destilada, tapar el tubo con uno corcho y agitar violentamente por 5 minutos.
4. Pesar un vaso de precipitación vacío, anotar **C=...g.**
5. Dejar reposar 5 segundos y con una pipeta retirar los sólidos en suspensión y proceder a colocarlos en un vaso de precipitación.
6. Repetir los pasos 3 y 4 hasta notar que la muestra al ser agitada no se torne turbia y los sedimentos contenidos decanten rápidamente.
7. Una vez que esto ocurra, llevar tanto el vaso de precipitación con los sólidos de la suspensión y el tubo de ensayo con la muestra sobrante a la estufa a una temperatura de 100° C. hasta que el agua se haya evaporado por completo.
8. Pesar el tubo de ensayo con la muestra y anotar **D=...g.** y pesar el vaso de precipitación con los residuos de la suspensión anotar como **E=...g.**

Cálculos

$$\text{Contenido de arena (F)} = D - A$$

$$\text{Muestra sin arena (G)} = E - C$$

$$\text{Muestra inicial (B)} = F + G$$

La sumatoria de F y G, tiene que ser igual a la cantidad de muestra inicial, en caso de no ser así la pérdida de material tiene que ser mínima.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ANEXO 30

Calcinación

Introducción

Generalmente solo curre pérdida por calcinación apreciable en diatomitas naturales, dado que el material procesado para ser usado como material filtrante ha sido calcinado previamente.

Objetivo

Determinar el porcentaje de pérdida mediante la calcinación.

Fundamento

La pérdida por calcinación corresponde al contenido de agua que no puede ser eliminada a 110° C., dióxido de carbono y combustión de materia orgánica contenida.

Materiales y equipo

Muestra de roca triturada y pasada por el tamiz 63 μm

Balanza analítica

Horno

Crisoles

Pinzas

Guantes resistentes al calor

Máscara resistente al calor

Método de trabajo

1. Precalentar el horno para calcinar a 1100° C.
2. Llevar los crisoles al horno para eliminar cualquier impureza que estos puedan contener, repetir el proceso hasta obtener peso constante.
3. Pesar el crisol vacío y anotar **A=...g**. Luego agregar una cantidad x de muestra dependiendo del tamaño del crisol y anotar **B=...g**.
4. Colocar el crisol en el horno y calcinar por una hora.
5. Transcurrido este tiempo retirar del horno y colocar en un desecador hasta que la muestra se haya enfriado.
6. Luego de enfriada llevar a la balanza y pesar, anotar **C=...g**.

Cálculos

$$\text{Muestra sin calcinar (D)} = B - A$$

$$\text{Muestra calcinada (E)} = C - A$$

$$\text{Pérdida por calcinación (F)} = D - E$$

Expresar el resultado en porcentaje (%)



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ANEXO 31

Contenido de materia orgánica

Introducción

La materia orgánica proviene de organismos y microorganismos muertos que se sedimentaron junto a los esqueletos de las diatomeas, y está constituida por elementos como proteínas, ceras, ligninas y grasas.

Objetivo

Determinar cuantitativamente la cantidad de materia orgánica total existente en una muestra de diatomita por el método de Walkley y Black,

Fundamento

El método Walkley-Black se basa en la digestión vía humedad, en el cual la materia orgánica del suelo se digesta con $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 . El calor externo liberado por la reacción, al diluirse el H_2SO_4 ayuda al proceso de oxidación. El exceso de $K_2Cr_2O_7$ sin reducir es determinado por valoración con $FeSO_4$.

Materiales y equipo

Balanza analítica

Espátula

Buretas

Vasos de precipitación de 250 ml

Balón Erlenmeyer de 250 ml

Balón de precipitación de 100 ml

Método de trabajo

1. Colocar 50 g. de la muestra en un balón Erlenmeyer y adicionar 5 ml. De dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ 1Normal.
2. Anadir 10 ml de ácido sulfúrico H_2SO_4 y agitar suavemente, dejar incorporar la muestra y reposar 30 minutos.
3. Anadir 100 ml. de agua destilada y 3 gotas de ferroina.
4. Titular con sulfato ferroso $FeSO_4$. 0.5 Normal.

Cálculos

$$\% \text{ C. org} = \left(\frac{(B - M) \times N \times 0.003 \times 1.3}{\text{muestra}} \right)$$

$$\% \text{ C. org} = A$$

$$N = \frac{5 \text{ ml}}{B}$$

$$\% \text{ Materia organica} = A \times 1.724$$

B: blanco; en el blanco y en la muestra analizada se toma en cuenta la cantidad consumida en la titulación de sulfato ferroso FeSO_4 .

