

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS**

INFORME

**GÉNESIS, CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y EVALUACIÓN MINERA DE LOS
DEPOSITOS DE ARCILLA NEGRA EN LA VEREDA ARTESANAL LA CHAMBA,
MUNICIPIO DEL GUAMO (TOLIMA)**

SERGIO LOZADA PADILLA

BOGOTÁ D.C., MARZO DE 2002

GÉNESIS, CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y EVALUACIÓN MINERA DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLA NEGRA EN LA VEREDA ARTESANAL LA CHAMBA, MUNICIPIO DEL GUAMO (TOLIMA)

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS

- Identificar los procesos involucrados en la génesis de los abanicos aluviales del Guamo-Espinal. También se quiere formular una hipótesis sobre la formación de los cuerpos de material arcilloso generados posteriormente a la depositación del abanico con base en los procesos pedogenéticos existentes, teniendo en cuenta la mineralogía del material parental, el clima y el tiempo de evolución.
- Describir físicamente los horizontes del suelo mediante el levantamiento de dos perfiles pedológicos representativos, involucrando la capa vegetal, la capa enriquecida de material arcilloso y el tope de las arenas. Un perfil se hará en el área donde se extrae la arcilla lisa y otro en donde se extrae la arcilla arenosa.
- Caracterizar mineralógicamente el material arcilloso por medio de los siguientes análisis: químico, térmico diferencial (ATD), difracción de rayos X y microscopía electrónica.
- Elaborar secciones delgadas a los dos tipos de arcilla, a las arenas y a los cantos del material parental, y si es posible, a la capa vegetal. También se desea elaborar sección delgada a las cerámicas ya cocidas, con el fin de observar el comportamiento del "oropel" y del material fundente.
- Calcular el volumen del material arcilloso, con el fin de conocer la duración de las reservas explotables, teniendo en cuenta la cantidad de material explotado.
- Elaborar un plan conceptual de explotación de la mina de arcilla lisa, con el fin de optimizar la extracción del material consumido por los artesanos, respetando las leyes vigentes en cuanto al medio ambiente se refiere.

1.2 LOCALIZACIÓN

Las minas de arcilla negra están situadas en la Vereda La Chamba, en la parte oriental del municipio del Guamo, departamento del Tolima (figura 1), plancha topográfica 264-IV-A del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, a 10 Km al E de la cabecera municipal del Guamo y a 12 Km al S del municipio de Espinal. Hacia el oriente, aproximadamente a un kilómetro, se encuentra el río Magdalena. La superficie total de los dos lotes suma aproximadamente nueve hectáreas (figura 2).

1.3 VÍAS DE COMUNICACIÓN

De la vía Espinal-Suárez y desde el municipio del Guamo apartan carreteables hasta la vereda artesanal de La Chamba.

1.4 MARCO HISTÓRICO

La extracción de arcilla en los alrededores de la vereda La Chamba para la elaboración artesanal de objetos cerámicos data desde los tiempos precolombinos, cuando nuestros antepasados indígenas eran los únicos pobladores de estas tierras. Durante la época de la Conquista, Colonia y República, esta actividad continuó en aumento hasta cuando los utensilios de aluminio desplazaron del mercado a los tradicionales tiestos de barro y de cobre. Durante los últimos años, por el renacimiento de las viejas costumbres y la influencia del turismo, la producción ha venido aumentando hasta lograr producir aproximadamente más de tres toneladas diarias de objetos terminados en toda la vereda artesanal de La Chamba.

1.5 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

- Los perfiles del suelo se realizaron mediante la excavación con pico y pala de calicatas con las siguientes medidas: 2m x 0.5m x 1m (largo, ancho y profundidad, respectivamente); la medición de espesores se hizo directamente con cinta métrica. La descripción física seguirá la metodología propuesta por MEJIA (1983) para el examen y la descripción de suelos.
- El muestreo para calcular el espesor de los cuerpos arcillosos se hizo por medio de 20 apíques. El valor del área de los lotes se obtuvo midiendo la longitud y disposición de los linderos, luego se calculó por medio de una cuadrícula en un plano a escala.
- La caracterización de arcillas se realizó tomando una muestra representativa de cada tipo de barro (liso y arenoso) y se llevó a cabo en los laboratorios de Geología y de Minerales del Ingeominas y en el Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. La difracción de rayos X se hizo con difractor Philips PW 3020 con lámpara de cobre. Se utilizó microscopio electrónico de barrido Philips XL30 ESEM.

1.6 ESTUDIOS ANTERIORES

Los depósitos de arcilla negra de La Chamba han sido descritos por BUITRAGO & BUENAVENTURA (1975) como "cuerpos alargados de arcilla dentro de arenas y gravas más superficiales del valle aluvial" del río Magdalena; sin embargo enuncian que el suelo agrícola de las arroceras también es utilizado para extraer arcillas. Estas arcillas consisten en "un material terroso de grano muy fino compuesto de varios minerales de los muchos que forman el grupo de la arcilla".

TOJANCI (1990) hizo un reconocimiento geológico superficial y determinó la secuencia litológica: arenisca, capa de arcilla y capa vegetal, sin mencionar mineralogía. NUÑEZ (1996) enuncia que los aluviones y terrazas de los ríos Magdalena y Saldaña son depósitos de gravas y arenas con intercalaciones arcillosas con poca o ninguna consolidación, pero no menciona la existencia de las minas.

Un inventario minero de INGEOMINAS (2000) menciona que las minas de arcilla en el municipio del Guamo poseen título minero y que las operaciones mineras a cielo abierto como arranque, cargue y transporte del material se realizan manualmente.

2 FISIOGRAFÍA

2.1 CLIMATOLOGÍA

Con base en datos de la estación del IDEAM localizada en el casco urbano del municipio del Guamo, se definió que la zona de estudio tiene un clima cálido y seco que corresponde al Bosque Seco Tropical, con alturas entre 280 y 300 msnm.

2.1.1 Precipitación

La precipitación promedio anual es de 1,382 mm anuales, con 70 días de lluvias. Se presentan dos períodos lluviosos distribuidos así: el primer período a finales de marzo, abril y mayo; el segundo período a finales de septiembre, octubre, noviembre y principios de diciembre, ocurriendo la máxima precipitación en el mes de mayo.

En las épocas de lluvia las precipitaciones oscilan entre 120 y 200 mm, con 7 a 11 días de lluvia por mes.

El primer período seco corresponde a los meses de junio, julio y agosto; el segundo período corresponde a finales de diciembre, los meses de enero, febrero y principios de marzo. Los meses de menor precipitación son julio y agosto.

En los períodos secos la precipitación mensual no alcanza los 100 mm, con un máximo de 5 días lluviosos.

2.1.2 Temperatura

La temperatura promedio anual es de 27.8°C, con un promedio de máximas hasta 33.3°C y uno de mínimas de 22.2°C. En algunos meses se han llegado a presentar máximas en el día de 39°C y mínimas en la noche de 19°C.

2.1.3 Humedad Relativa

La humedad relativa presenta valores entre 73 - 78% para los períodos lluviosos y 63 - 71% para los meses de menor precipitación. Los mayores valores pertenecen a los meses de mayo, junio, noviembre y diciembre con valores de hasta 79.6%. El menor valor corresponde al mes de agosto con 47%.

2.1.4 Viento

El viento presenta dos factores principales: acción mecánica y acción de evaporación.

La acción mecánica se manifiesta cuando el viento adquiere velocidades altas, capaces de arrastrar o tumbar plantas o cercas. La acción de evaporación se nota cuando el vapor de agua, que es más denso cerca de la superficie del suelo en condiciones de calma de aire, es rápidamente movido y mezclado por la turbulencia del aire menos húmedo de arriba, bajando el balance de la presión de vapor de cerca de la superficie y creando un ritmo más rápido de evaporación del suelo (IBARRA *et al*, 1985).

En la zona de estudio los vientos se presentan con una dirección dominante de norte a sur. La velocidad promedio corresponde a 3.2 - 6.1 Km/h. Las velocidades máximas se presentan en los meses de julio (12.2 km/h), que no alcanzan a producir ninguna acción mecánica. La influencia del viento es principalmente sobre la evaporación.

2.1.5 Brillo Solar

El valor total promedio anual de brillo para un período de 14 años es de 1,580 horas. Los valores medios mensuales van desde 160 a 199. El menor valor corresponde al mes de mayo y el mayor a los meses de diciembre y enero.

2.1.6 Evaporación

La evaporación total anual es de 1,468 mm. Los valores medios de evaporación fluctúan entre 132 mm y 203 mm. El mayor promedio mensual corresponde a los meses de julio y agosto con 202 y 203 mm respectivamente.

2.2 VEGETACIÓN

La vegetación natural característica se limita a los bosques de galería ubicados a lo largo de ríos y quebradas de la región, y a las especies arbustivas y herbáceas, ubicadas en los predios sin uso agropecuario regular.

Entre las especies arbóreas de los bosques de galería están: dinde, caucho, payandé, guásimo, balsa, mango, totumo, teca, etc. Entre las especies arbustivas y herbáceas más comunes de la región están: mosquero, pringamosa, pelá, meloncillo, liendrepuerco, etc.

Por su adaptabilidad para la agricultura, la vegetación arbórea ha desaparecido en gran parte del área, para dar cabida a los cultivos y pastizales bajo irrigación. Se cultiva intensamente arroz, y en menor proporción, sorgo, maíz y algodón.

2.3 GEOMORFOLOGÍA

Se distinguen varios geoformas en el área:

2.3.1 Colinas

El material está compuesto por sedimentos de las partes altas de la cordillera central, que se depositaron durante el Terciario formando a lo largo del río Magdalena una gran terraza que posteriormente sufrió una disección que dio origen al relieve de colina actual.

2.3.2 Abanicos

Forma un paisaje de planicie uniforme de pendientes suaves 0-3% de orientación NW-SE. En su formación intervinieron procesos climáticos, una fuerte actividad volcánica y cambios en el régimen fluvial del río Magdalena.

2.3.3 Terrazas

Son de relieve plano a ligeramente plano. Los cambios climáticos del Terciario y Cuaternario tuvieron una influencia importante en el régimen de los ríos (períodos de erosión y sedimentación) que favorecieron la formación de terrazas. Se han originado tanto por el río Magdalena como por sus afluentes que descienden de la Cordillera Central.

2.4 HIDROGRAFÍA

Los ríos que conforman la red hidrográfica de la zona son el Magdalena, Saldaña y Luisa, y más puntualmente las quebradas Tomial, Inga y La Regalada (o Peñosa). El drenaje externo en suelos es rápido debido a los canales de irrigación.

3 GEOLOGÍA

3.1 ESTRATIGRAFÍA

Las unidades aflorantes en la zona de estudio de antiguo a reciente son (Anexo 1):

3.1.1 Grupo Honda

Se extiende a lo largo del valle del río Magdalena, en una franja que cruza de sur a norte. Las rocas que afloran al oriente del río están constituidas por capas rojizas de grano fino. El contacto superior es discordante con terrazas y aluviones del río Magdalena. La edad de la unidad es Mioceno medio.

3.1.2 Abanicos del Espinal y del Guamo

Son abanicos o conos de deyección de grandes dimensiones. Su morfología es plana y están suavemente inclinados hacia el valle del Magdalena, exhibiendo su forma característica de abanico.

Algunos autores consideran estos abanicos aluviales como un solo abanico debido a que sus diferencias litológicas no son muy notorias. Predominan los depósitos constituidos por tobas y cenizas volcánicas retrabajadas, acompañados de guijos pumíticos y andesíticos. La unidad en su porción más superficial se compone de arenas finas con fragmentos rodados; éstas arenas están constituidas principalmente por cuarzo, feldespato, anfíbol negro, micas y en ocasiones pirita. Las piedras rodadas son fragmentos de andesita, dacita y pumitas.

El origen del abanico del Espinal está relacionado con actividad eruptiva del Cerro Machín. Datos de C^{14} determinados por VAN DER HAMMEN indican una edad de 3,400 años para el Abanico del Espinal, asignando esta unidad al Holoceno, acorde con la edad de los eventos explosivos del Cerro Machín.

3.1.3 Aluviones y Terrazas

Extensas zonas de los valles de los ríos Magdalena y Saldaña y sus tributarios están cubiertas por depósitos sedimentarios aluviales. Los más antiguos han sido erosionados y presentan formas aterrazadas. Generalmente son depósitos de gravas y arenas, con intercalaciones arcillosas de dimensiones variables, con poca o ninguna consolidación, y selección regular a buena. La edad de estas acumulaciones es Holoceno a Reciente; por lo tanto, unas están en proceso de formación debido a la dinámica fluvial permanente, mientras que otras se han formado en eventos extraordinarios como flujos torrenciales en épocas invernales.

3.2 HISTORIA GEOLÓGICA

Al final del Cretácico se desarrolla al oriente de la Cordillera Central una cuenca amplia en la cual la sedimentación cambia paulatinamente de un ambiente marino hasta fluvio-lacustre, debido a la caída del nivel del mar.

Al principio del Terciario, en el Paleoceno la sedimentación es principalmente de ambiente continental. Al Paleoceno pertenece la Formación Guaduas, que consta de arcillolitas y limolitas abigarradas, arenitas finas y localmente mantos de carbón que muestran ambiente de pantanos. Esta unidad aflora al norte de Chicoral y al norte de San Luis.

Según IRVING (1971), en el Eoceno Medio se originan importantes movimientos tectónicos que aumentan el relieve de la Cordillera Central y elevan ciertas zonas dentro del área de la actual Cordillera Oriental. El aumento del relieve en la Cordillera Central produce una activación de los procesos de degradación de estas áreas principalmente mediante una fuerte erosión fluvial. Es así como inicia una sedimentación en un ambiente de llanura aluvial de piedemonte, que descansa discordante sobre las rocas más antiguas. Estos sedimentos, que constituyen la parte inferior del Grupo Gualanday, constan principalmente de conglomerados alternados con arenitas y lodolitas. Estos conglomerados presentan, junto con los de la parte superior del Grupo Gualanday, cuevas pronunciadas en el Valle del Magdalena. Cuando la afluencia del material disminuye, se depositan encima de los conglomerados inferiores lodolitas grises y arenitas, de ambiente fluvial. Esta unidad aflora en los alrededores de Gualanday, al norte de San Luis y al oriente del Valle de san Juan.

Nuevos movimientos ocurren aproximadamente al final del Oligoceno o principios del Mioceno (IRVING, 1971) y renuevan la fuerte erosión fluvial en la Cordillera Central, lo que se comprueba por la sedimentación de conglomerados (parte superior del Grupo Gualanday) en la cuenca del Magdalena. En un ambiente tectónicamente más tranquilo se deposita la Formación Cira, que suprayace concordantemente los conglomerados superiores del Grupo Gualanday. Estos sedimentos constan de lodolitas grises y localmente rojizas, alternadas con arenitas grises y amarillentas (SOETERS, 1976). Esta unidad aflora al suroccidente de Coello, cerca del río Guaduas. Aflora extensamente al oriente de Girardot.

Después de la sedimentación de la Formación Cira ocurre otra fase de actividad tectónica cuyo resultado es el plegamiento intenso de las capas cretácicas y terciarias y un nuevo levantamiento de la Cordillera Central. Durante esta misma fase se originó también la compleja cuenca tectónica del valle del Magdalena, dentro de la cual se limita la sedimentación posterior. Dentro de este ámbito se depositan los sedimentos del Grupo Honda, que constan principalmente de arcosas, lodolitas y conglomerados. El Grupo Honda descansa discordante sobre los estratos inferiores y llega a transgredir sobre el basamento cristalino de las vertientes orientales de la Cordillera Central. El ambiente de sedimentación es nuevamente típico de una llanura aluvial de piedemonte. Durante la sedimentación del Grupo Honda se nota una actividad volcánica de intensidad variable; sin embargo, la actividad tectónica fue la causa principal de la agradación. A principios del

Plioceno, el ambiente tectónico se torna otra vez más tranquilo y se acumulan las lodolitas rojas en el tope del Grupo Honda. Esta unidad aflora al sur de Suarez, por el costado oriental del río Magdalena; también aflora al suroccidente de Saldaña.

En el Plioceno Medio ocurre posiblemente otra renovación de la actividad tectónica, esta vez acompañada de un vulcanismo fuerte, lo cual da lugar a una nueva fase de agradación en la cuenca del Magdalena y a una profunda degradación dentro de la Cordillera Central, originada por la erosión de estas regiones durante el ciclo del Grupo Honda. Estos sedimentos, que componen la Formación Mesa, constan en su base de una unidad conglomerática, tanto de clastos volcánicos como de material derivado de la erosión de rocas ígneas y metamórficas. Suprayacente se halla una unidad que contiene principalmente tobas, además de cenizas y lodos volcánicos. El miembro superior de la formación, que aflora únicamente en la parte alta del valle del Magdalena, consta de un conglomerado polimíctico que indica una reanudación de los movimientos tectónicos.

Es de suponer que al final de la sedimentación de la Formación Mesa e inmediatamente después (finales del Plioceno o comienzos del Pleistoceno) tuvo lugar la última fase importante de actividad tectónica, que produjo sobre todo el levantamiento de la Cordillera Oriental y un ligero plegamiento de los sedimentos más recientes; además se formó el complicado valle estructural del río Magdalena, debido a movimientos diferenciales entre bloques, con desplazamientos verticales y transversales, que acentuaron la subdivisión existente del valle en las subcuencas de Honda, Girardot y Neiva, separadas entre sí por el alto de Gualanday-Piedras y el Arco de Natagaima (SOETERS, 1981).

En el Cuaternario, los fenómenos de erosión y sedimentación no estuvieron ya gobernados por los movimientos tectónicos, sino también por los cambios climáticos inherentes a los períodos glaciales e interglaciales o pluviales e interpluviales. Se nota además que durante el Neógeno-Cuaternario hay una reactivación del vulcanismo en la Cordillera Central. Las erupciones volcánicas ocasionaron la formación de flujos de lava, flujos piroclásticos y caídas de ceniza y lapilli, que cubrieron las unidades más antiguas. Estos depósitos tienen composición andesítica-dacítica. Estos depósitos afloran en las partes altas de la Cordillera Central.

Los materiales piroclásticos provienen de los volcanes más explosivos de la cadena como son el Cerro Machín y el Nevado del Tolima. Las emisiones de ceniza y lapilli recubrieron y suavizaron la topografía en un radio de por lo menos 50 km. La edad de estas acumulaciones piroclásticas se ha considerado Pleistoceno-Holoceno.

Después de la sedimentación de la Formación Mesa, que está ausente de la zona de estudio, y a los últimos movimientos tectónicos, se desarrolló en grandes extensiones del valle del Magdalena un glacis de erosión. En los depósitos volcánicos de las partes altas de la Cordillera Central, los ríos transportaron estos materiales y los depositaron en las áreas relativamente planas, cubriendo casi totalmente la topografía de las rocas más antiguas. En la zona de estudio este plano tiene unos 40 km de ancho aproximadamente, y es conocido con el nombre de Llanos del Tolima.

En el Pleistoceno tardío a Holoceno temprano se desarrollan los abanicos de Ibagué y del Guamo. Debido a una reactivación del vulcanismo en la Cordillera Central y a una brecha en la barrera de Gualanday, se deposita durante el Holoceno el nivel formado por el abanico del Espinal. Sobre éste se encuentran las minas de arcilla de La Chamba.

Posteriormente, en las márgenes de los ríos Magdalena y Saldaña, se depositaron aluviones constituidos por conglomerados, arenas y arcillas en capas lenticulares de dimensiones variables. Las arcillas fluviales se acumularon en las llanuras de inundación de éstos ríos durante las épocas de creciente.

3.3 DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO

3.3.1 Abanicos de Ibagué y del Guamo

La fotointerpretación geomorfológica de la región de Ibagué muestra una antigua llanura de piedemonte. Debido a su forma, con su ápice ubicado en donde se encuentra la ciudad de Ibagué, se da a esta planicie el nombre de Abanico de Ibagué; Sin embargo, no fue únicamente el río Combeima el que formó esta llanura de piedemonte, ya que en la zona se encuentra el río Coello, que también aportó grandes cantidades de material para constituir esta llanura, así como otros ríos menores. Por lo tanto, la denominada Llanura de Ibagué, es una llanura de piedemonte compuesta por la unión de varios abanicos, entre los que se cuenta el Abanico de Ibagué. Esta llanura se desarrolló desde la Cordillera Central como un glacis de acumulación. El término *glacis* indica una superficie de aplanamiento con un perfil longitudinal cóncavo que baja del frente de las montañas hacia la llanura y sin limitación climática.

Para el desarrollo de la Llanura de Ibagué fueron muy importantes las lomas de rocas terciarias de la Formación Gualanday, que aparecen como una barrera natural entre la zona en donde se originaron los abanicos y la depresión del valle del Magdalena, y obstruyeron el desenvolvimiento de los abanicos de los ríos Coello y Combeima más hacia el oriente de la región, en donde se encuentra el Magdalena. Para desembocar en éste, los ríos al bajar de la Cordillera Central sólo tenían dos vías: la primera, tomando un curso mas o menos paralelo a la Cordillera Central hacia el noreste para desembocar en la subcuenca de Honda por el sur del municipio de Venadillo, y la segunda, siguiendo el rumbo de las capas del Gualanday Superior (conglomerados) por las capas blandas y fácilmente erosionables del Gualanday Medio (arcillas y areniscas) hacia el sur hasta San Luis, en donde la vía al río Magdalena quedó libre debido a un cabeceo estructural de las capas del Grupo Gualanday. La vía hacia el norte fue seguida por los ríos Alvarado, Chipalo y parte del Combeima, mientras que el resto de éste, y los ríos Coello y Luisa confluyeron por San Luis.

Fue así como la llanura de piedemonte se extendió hacia el sur hasta Payandé, Valle de San Juan y San Luis, en donde se abrió bruscamente paso hacia el valle del Magdalena y se formó el Abanico del Guamo, que en realidad no es más que la prolongación meridional del Abanico de Ibagué. Como se constituyó por los ríos Coello, Luisa y Combeima, tiene

todas las características de abanico, el cual consta principalmente de material obtenido por la erosión en la cordillera, donde abundan los cantos de composición andesítica, mezclados con cantos metamórficos y graníticos (SOETERS, 1981).

Posteriormente se originó una erosión regresiva sobre el Abanico del Guamo y en la parte septentrional de la Llanura de Ibagué, que se extendió por los múltiples canales de desagüe del abanico. Esta erosión avanzó rápidamente a lo largo del río Coello (que por entonces desembocaba junto con el río Luisa cerca del Guamo en el río Magdalena), el cual pudo incisarse en sedimentos aluviales debido a su gran caudal y por consiguiente a su poder erosivo. El encajonamiento del río Coello en sus antiguos sedimentos y la ausencia de una erosión lateral importante, indican una erosión profundizante rápida.

Una fuerte actividad volcánica, relacionada con explosiones del volcán Machín, cambió por completo el patrón de erosión y sedimentación. La abundancia de material volcánico transportado por el río Coello, cuyo origen está en las pendientes del volcán del Tolima, llenó rápidamente el valle encajonado entre los sedimentos antiguos del Coello. Fue así como este material, que se caracteriza por su color claro y la abundancia de piedra pómez, se transportó desde el principio a través del valle encajonado. Esta sedimentación ocurrió muy rápido y a menudo en forma catastrófica (SOETERS, 1981). En la misma época el Combeima transportó también material volcánico, pero en menores proporciones que el Coello.

3.3.2 Abanico del Espinal

El material volcánico llenó rápidamente el valle encajonado del río Coello y los sedimentos nuevos se esparcieron sobre los más antiguos, como sucedió en el abanico del Guamo, donde se depositó una capa delgada que luego se replegó hacia las partes bajas del abanico disectado. Como en casi todo el resto de la llanura no se encuentra material volcánico, es posible que cuando los sedimentos volcánicos llenaron los valles hasta el nivel antiguo y el río Coello se encontraba otra vez en libertad de cambiar su curso sobre una llanura extensa, se rompió la barrera natural de las rocas pertenecientes al Grupo Gualanday, en el sitio en donde hoy está el municipio del mismo nombre, y por donde pasa el río Coello. Es posible que el lugar de rompimiento siempre haya sido un punto bajo en la barrera natural y por lo tanto se puede pensar que actuó como vertedero del río Coello, sobre el cual se produjo una erosión profundizante que formó el estrecho actual. Sin embargo, la evidencia de fallamiento en las capas de la Llanura de Ibagué (SOETERS, 1981), que afecta hasta los sedimentos volcánicos, deja la posibilidad de que la brecha de la barrera se deba a actividad tectónica.

Como consecuencia del cambio de curso del río Coello, el cual bajó su nivel base local, éste empezaba a incisarse otra vez rápidamente, mientras se depositaban grandes cantidades de material al este de Gualanday y Chicoral, formándose el abanico del Espinal. Este abanico tiene un contenido característico de material volcánico desde su base hasta el tope, en el que abundan cantos de piedra pómez y andesitas. Los sedimentos invadieron gran parte de la llanura del río Magdalena y cubrieron parcialmente los sedimentos del abanico del Guamo.

Además, la ruptura del paso de Gualanday, que ha sido datada por C¹⁴ en 3,800 ± 100 años (JUNGERIUS, 1976), provocó un rejuvenecimiento de la erosión sobre el abanico del Guamo, pues cuando se abrió dicho paso, ocurrió un cambio en el régimen fluvial del río que formó el abanico pues se perdió toda el agua de la cuenca del río Coello, iniciándose de nuevo una degradación del abanico del Guamo. Desde el pie de este abanico apareció una erosión regresiva concentrándose en los canales de desagüe existentes, dando un aspecto disectado y removiendo parte del material volcánico depositado.

Puede decirse que al momento de formarse el abanico del Espinal se degradó el abanico del Guamo; por consiguiente, se puede suponer que ocurrió una fase erosiva previa a la sedimentación del material volcánico retrabajado del Abanico del Espinal.

3.3.3 Río Magdalena

Este río ya pasaba, en el período de la formación del abanico del Espinal, por el extremo oriental de su valle bordeando las montañas que se encuentran allí, debido al empuje por la acumulación de material del abanico del Guamo, y posteriormente, del Espinal.

Una vez formado el abanico del Espinal, y cuando posiblemente disminuyó el aporte de material volcánico, el río Magdalena empezó a incisarse en los depósitos volcánicos retrabajados. Esta incisión del río Magdalena hizo bajar el nivel base local y provocó una erosión regresiva sobre el abanico del Espinal, mientras perduraba esta misma forma de erosión en el abanico del Guamo. Sin embargo, esta fase de incisión no duró mucho tiempo y otro cambio en el régimen del río originó un nuevo período de acumulación de material. En este lapso varios de los valles erosionados en los abanicos del Guamo y Espinal se inundaron y se llenaron de sedimentos del Magdalena mostrando un fondo completamente plano. A su vez, el río Magdalena logró cubrir por completo con sus sedimentos la parte noreste del abanico del Espinal, en la región entre éste y Girardot, en donde se originó una llanura de inundación del río Magdalena. Lo anterior se comprueba por el cambio brusco entre el abanico y ésta llanura y por la presencia del nivel del Espinal aproximadamente dos metros por debajo de los sedimentos más recientes del Magdalena, en el puente de Girardot (SOETERS, 1981).

La secuencia de eventos termina con una nueva incisión de los ríos más importantes (Magdalena y Coello) que ocurre en forma bastante rápida, dominando la erosión profundizante sobre la lateral. Es por lo anterior que actualmente estos ríos se encuentran encajonados dentro de sus propios sedimentos y solo en pocos sitios aparecen terrazas bajas. Esta incisión del Magdalena y del Coello renovó la erosión sobre los abanicos del Guamo y del Espinal, principalmente en los canales de desagüe existentes sobre tales abanicos.

4 GENERALIDADES SOBRE ARCILLAS

El término "arcilla" actualmente tiene muchas interpretaciones, dependiendo generalmente del interés específico del investigador; sin embargo, con base en el tamaño de las partículas que la conforman se ha llegado al consenso de que la arcilla es un material mineralógico, geológico y pedológico caracterizado por tamaño de grano menor a $2\mu\text{m}$. Observando ésta discusión desde el punto de vista mineralógico se puede decir que la arcilla es un conjunto de filosilicatos y minerales arcillosos de menos de dos micras que exhiben las siguientes propiedades: aluminosilicatos hidratados, estructura laminar, alta plasticidad, posibilidad de expansión con agua o compuestos orgánicos, endurecimiento al calentar, concentrados en la fracción coloidal.

El estudio de los minerales arcillosos presenta una imposibilidad virtual para la obtención de datos cuantitativos debido a la variación composicional, variación estructural, interestratificaciones, morfología variada, tamaño de grano y técnicas de preparación en los análisis de identificación.

Las arcillas presentan una estructura general de láminas compuestas de formas octaédricas y tetraédricas. Los tetraedros (base estructural de los aluminosilicatos) se pueden unir por sus ángulos basales y dejar libres sus oxígenos apicales, formándose láminas tetraédricas (T) teóricamente infinitas; el Si^{+4} puede sustituirse por Al^{+3} o por Fe^{+3} . Las láminas octaédricas (O) se forman por unión de octaedros por sus caras; estos están compuestos por Al^{+3} o Mg^{+2} que se ligan con seis aniones. Estas láminas (T, O) se pueden acoplar para formar diferentes tipos de minerales arcillosos:

T-O / (1:1) La distancia capa-capas tiene un promedio de 7\AA . Ej: caolinita, serpentinitas, etc.

T-O-T / (2:1) La distancia capa-capas tiene un promedio de 10\AA ; generalmente presentan elementos y agua en los espacios interlaminares. Ej: talco, pirofilita, micas, illitas, etc.

(2:1:1) / (2:2) La distancia capa-capas es de $\pm 14\text{\AA}$, presentando una capa de hidróxidos (o agua) adicional. Ej: cloritas, esmectitas, vermiculitas.

Los anteriores son unidades estructurales que pueden formar minerales arcillosos simples, interestratificados regulares o interestratificados caóticos.

Dada la diversidad de minerales arcillosos existentes y su difícil identificación, inclusive con microscopio óptico, la caracterización de estos minerales se debe hacer con métodos más sofisticados como la difracción de rayos X, donde se logra medir la distancia interlaminares del mineral arcilloso que se estudia, convirtiéndose éste en el principal método de identificación y caracterización de arcillas; también son importantes la espectrometría infrarroja y los análisis químicos, térmicos, gravimétricos y termogravimétricos, además de la microscopía electrónica.

La siguiente es la clasificación de las arcillas realizada por GRIM (1953) basada sobre la estructura y composición:

- I. Amorfos.
Grupo de la alófana.
- II. Cristalinos.
 - A. Tipo de dos capas (estructura en hojas, compuesto de unidades de una capa de tetraedros de sílice y una capa de octaedros de alúmina).
 - 1. Equidimensional.
Grupo de la Caolinita (Caolinita, Nacrita, etc.).
 - 2. Alargada.
Grupo de la Halloisita.
 - B. Tipos de tres capas (estructura de hojas, compuesta de dos capas de tetraedros de sílice y una capa central dioctaédrica o trioctaédrica).
 - 1. Red expansible.
 - a) Equidimensional.
Grupo de la Montmorillonita. Montmorillonita, Sauconita, etc. Vermiculita.
 - b) Alargada.
Grupo de la Montmorillonita. Montronita, Saponita, Hectorita.
 - 2. Red no expansible.
Grupo de la Illita.
 - C. Tipos de capas mezcladas regulares.
Grupo de la Clorita.
 - D. Tipos de estructura en cadena.
Atapulgita – Sepiolita – Paligorkita.

Tabla 1. Características y propiedades importantes de los principales grupos de arcillas silicatadas.

Característica	Grupo de arcillas		
	Caolín	Esmectita	Micas hidratadas
Principales arcillas del grupo	Caolinita Halosita Nacrita Diquita	Montmorillonita Pirofilita Beidelita Nontronita	Muscovita Biotita Illita Filita
Estructura	Capas rígidas 1:1	Capas expandibles 2:1	Capas casi rígidas 2:1
Fórmula	$2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Similar a la esmectita más 5% K_2O
Sustitución iónica	Nula	Al por Si; Mg, Fe, Mn o Ti por Al	Al por Si
Capacidad de intercambio catiónico	3-20 me/100 g	80-150 me/100 g	10-40 me/100 g
Capacidad de adsorción de iones, agua y gases	Pequeña	Grande	Grande
Temperatura para perder el agua de cristalización	500-700 °C	600-700 °C	500-650 °C
Superficie específica	10-30 m ² /g	800 m ² /g	
Espesor de la unidad	7.2 Å	10-20 Å	
Expansión y contracción	Muy poca	Mucha	Poca

5 PEDOLOGÍA

5.1 GÉNESIS DEL SUELO

Las características del suelo en un lugar determinado dependen de la interacción de factores tales como la naturaleza del material parental (composición química y mineralógica); el clima, especialmente la precipitación y la temperatura; el relieve del área; los organismos vivos (vegetación y animales); el tiempo durante el cual los materiales originarios han estado sujetos a los procesos de la formación del suelo y finalmente la intervención del hombre.

El material de origen o material parental es el resultado de los procesos de meteorización de la roca madre para constituirse en el participante pasivo, pero básico de la formación del suelo.

El clima actúa en la evolución del suelo, especialmente por la acción de las lluvias y la temperatura. Las aguas lluvias determinan la humedad, el carácter y la extensión del lavado al cual están sometidos los suelos. La temperatura influye en la velocidad de las reacciones químicas y en la actividad microbiológica del suelo. El relieve afecta la actuación de los factores climáticos aumentando o disminuyendo los efectos de la humedad y de la temperatura.

Los organismos vivos intervienen en la formación del suelo por intermedio de la vegetación natural y de los macroorganismos. La cubierta vegetal modifica el régimen hídrico y el microclima, además es una fuente de materia orgánica en los suelos. El tiempo por sí mismo no puede ejercer ningún efecto, pero interviene al determinar el valor o la extensión de la acción de los demás factores.

La interacción de los factores mencionados se refleja en los procesos de formación del suelo que involucran fenómenos llevados a cabo internamente en el medio; las pérdidas, ganancias, translocaciones y transformaciones que ocurren dentro del perfil dan como resultado la diferenciación de horizontes y determinan el grado de evolución del suelo.

Estos suelos se han clasificado como medianos (presentan una proporción relativamente equilibrada de arena, limo y arcilla) con un horizonte clay-pan (IGAC, 1964). Poseen menor permeabilidad que los suelos adyacentes ubicados hacia el occidente, los cuales son más arenosos. Tienen buenas condiciones de retención de humedad y químicas como alto contenido de calcio y magnesio (para cultivos). El color es pardo grisáceo a gris en el suelo propiamente, y pardo amarillento a pardo oliva en el subsuelo.

5.2 GÉNESIS DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLA

Los factores más importantes en la génesis de estas arcillas son en su orden: material parental, tiempo y clima. Se han formado en suelos desarrollados a partir de abanicos

antiguos ricos en minerales intemperizables y están sujetos a una evapotranspiración que sobrepasa la precipitación, lo que se traduce en pH neutro, una alta saturación de bases y CIC media.

5.2.1 Material Parental

El material parental está formado por depósitos recientes de arenas tobáceas andesíticas retrabajadas, presentando contenido abundante de plagioclasa, presencia de minerales alterados, cuarzo, biotita y hornblenda, y trazas de piroxenos (hiperstena) y vidrio volcánico (BURGOS & RIVILLA, 1973).

5.2.2 Clima

La síntesis de arcilla ocurre en medios provistos de Ca y Mg, con un clima cálido y suficientemente húmedo para permitir la meteorización, aunque existan períodos secos. El clima presenta altas temperaturas medias y estaciones secas marcadas; las fuertes lluvias de la estación húmeda se empozan por largo tiempo en estos suelos. En estas áreas de relieve plano las aguas lluvias se desplazan lentamente. Sin embargo, en condición de recibir un bajo volumen de aguas lluvias y de estar sometidas a una alta evapotranspiración, los suelos evolucionan en condiciones de buen drenaje.

5.2.3 Tiempo de Evolución

El tiempo durante el cual los procesos intempéricos han actuado sobre los materiales parentales, es factor de diferenciación en la evolución de los suelos. Los depósitos sedimentarios del Holoceno tienen altos porcentajes de minerales fácilmente intemperizables y originan suelos con un grado de desarrollo bajo. Sin embargo, debido a los factores climáticos, los suelos presentan una mayor evolución.

5.3 PROCESOS PEDOGENÉTICOS PARA ENRIQUECIMIENTO DE ARCILLAS

5.3.1 Translocaciones

Las translocaciones de materiales arcillosos involucran fenómenos de eluviación-iluviación, los que conllevan a definir horizontes A y B.

Ejemplos de estos procesos están relacionados con partículas en suspensión e influencia del medio sobre la naturaleza de los horizontes iluviales (MALAGÓN et al, 1995).

Las partículas en suspensión se asocian en su dinámica al transporte mecánico. Las condiciones del medio son importantes, de tal manera que, por ejemplo, el inicio de la

decarbonatación permite la movilidad de las arcillas finas y a medida que esta continúa (medios en la cercanía de la neutralidad) el calcio y el hierro constituyen agregados arcillo-húmicos.

La influencia del medio sobre la naturaleza de los horizontes iluviales se ejemplariza bajo condiciones de un medio moderadamente ácido, en los cuales se puede generar horizontes argílicos (Bt), mediante la migración mecánica y la iluviación arcillosa en grado significativo.

Es posible que la ganancia de arcilla del horizonte B corresponda a pérdida del horizonte A; en esta forma de translocación las arcillas no sufren ninguna alteración química.

5.3.2 Lixiviación

La lixiviación se ve afectada por la solubilidad de los compuestos, condiciones de desaturación y decarbonatación.

La lixiviación de carbonatos de calcio y el proceso de marronización son requisito previo para el desarrollo del horizonte argílico. Bajo estas condiciones las arcillas más finas y el hierro férrico migran sin que se rompan los enlaces que existen entre ellos. Esta migración ocurre en un medio saturado, tan pronto como sobreviene la pérdida de carbonato de calcio libre.

El lavado de carbonatos que remueve el calcio, floculante poderoso, deja el suelo en condiciones favorables para el movimiento relativamente libre del plasma bajo la influencia del agua que se infiltra. Los materiales involucrados en el proceso de translocación migran por los poros y hendiduras hasta depositarse en el horizonte B para caracterizar el horizonte argílico Bt (IBARRA et al, 1985).

El segundo proceso (marronización), libera un floculante ligero que fomenta la depositación de arcilla en el horizonte B (BUOL et al, 1959).

Es posible que existiera un "paleoclima" con precipitaciones superiores a las actuales que intensificara los procesos de lixiviación de carbonatos y de marronización. Actualmente, a pesar de que se registran altas temperaturas, las precipitaciones no son suficientes para causar una mayor alteración de los materiales minerales. El lento lavado de los suelos hace posible que las bases (Ca, Mg, Na, K) permanezcan en su sitio, creando condiciones para la formación de minerales arcillosos de tipo 2:1.

5.3.3 Transformación y Neoformación de Minerales

En el medio ambiente del suelo se pueden formar los llamados "minerales secundarios"; los más importantes son los minerales de la arcilla.

La meteorización química separa los minerales en sus partes. Los minerales de la arcilla están formados por una recombinación de los componentes químicos que llegan a la humedad del suelo después de la meteorización química. Dependiendo de las disponibilidades de los diferentes tipos de compuestos químicos, se pueden formar diferentes tipos de minerales de la arcilla. El transporte del material erosionado y los procesos de lixiviación, translocación y la redistribución de los componentes químicos móviles, determinan qué material está disponible para la formación de minerales secundarios (LORAN, 1987).

La génesis de arcillas de neoformación tipo 2:1 (vermiculita) está relacionada con regímenes alternantes de sequía y humedad y con riqueza en calcio y magnesio (IBARRA et al, 1985).

5.4 PEDOLOGÍA DESCRIPTIVA

Los suelos sobre la parte baja del abanico del Espinal se han cartografiado en la unidad Asociación Espinal, con altitudes comprendidas entre 280 - 350 msnm, con temperaturas medias aproximadas de 25-32 °C y un promedio anual de lluvias entre 1,000 y 1,500 mm. La unidad pertenece a la formación de bosque seco tropical.

El relieve es plano a ligeramente plano con pendiente 0-3%; como procesos geomorfológicos actuales se presentan en algunas zonas esporádicos escurrimientos difusos casi imperceptibles; el material parental del suelo es sedimentos holocénicos de abanico aluvial conformados por arenas arcillosas con cantos de rocas andesíticas y pumíticas.

La vegetación natural ha sido completamente destruida por lo que actualmente, por su relieve, fertilidad y la posibilidad de riego, está utilizada en cultivos de arroz y sorgo, y en menor proporción cultivos de maíz.

Los suelos son superficiales a moderadamente profundos, pobremente drenados, texturas finas a medias, de color gris oscuro. El horizonte superficial A, delgado y con una estructura granular débilmente desarrollada, descansa sobre un horizonte de acumulación Bt, delgado y masivo. A los 50 - 65 cm de profundidad aparece el horizonte C de textura arenosa.

5.4.1 PERFIL DEL SUELO EN LA MINA DE BARRO LISO

El perfil se describió en una calicata que se excavó aproximadamente a 40 metros al SSW de la entrada al lote respectivo, de propiedad de Artesanías de Colombia, donde está ubicada la mina de arcilla lisa, en la Vereda La Chamba. La descripción se hizo en un terreno plano.

Número perfil: LC-1

Unidad geológica de mapeo: Abanico aluvial de Espinal

Unidad pedológica de mapeo: Asociación Espinal

Fecha de descripción: febrero 19 de 2002

Descripción por: Sergio Lozada

Localización geográfica: Mina de arcilla lisa en el lote de Artesanías de Colombia, Vereda La Chamba, Municipio del Guamo, Departamento del Tolima, fotografías aéreas 175 y 176, vuelo C-2658, 15 metros al oeste del límite E y a 40 metros al sur del límite N del lote.

Posición geomorfológica: Llanura de abanico aluvial distal.

Altitud: 293 metros sobre el nivel del mar

Relieve y pendiente: Plano; 0-3%

Vegetación natural: No hay; en vaguadas y cañadas se encuentra bosque de galería que se componen de árboles de caucho, guacimo, balso, palma real.

Uso actual de la tierra: Cultivos de arroz; también hay pequeñas zonas de rastrojos.

Drenaje natural: Pobremente drenado.

Condiciones de humedad del suelo: Empozado.

Profundidad efectiva: Moderadamente profundo.

Presencia de piedras o afloramientos rocosos: Nula.

Presencia de rasgos biológicos: Hormigueros ($\pm 1\%$).

Evidencias de erosión: No hay.

Inundabilidad y/o encharcabilidad: Frecuente.

Evidencias de influencia humana: Excavación de minas (huecos en forma circular).

Clima: Cálido y seco; bosque seco tropical.

Material parental: Depósitos de abanico aluvial; arenas arcillosas con cantos de rocas andesíticas y pumíticas.

5.4.1.1 Descripción del Perfil Modal

0 - 34 cm A	Gris oscuro en húmedo y gris en seco; textura franca (arena lodosa muy fina a media con esporádicos gránulos); estructura granular fina y media, débil; consistencia dura, firme, ligeramente pegajosa y plástica; abundantes poros discontinuos finos; esporádicos nódulos ferruginosos de hasta un cm de diámetro; pocas lombrices, comunes hormigas; pocas raíces finas y muy finas; límite gradual, ondulado.
34 - 59 cm B	Gris muy oscuro en húmedo y gris oscuro en seco con pocos moteos color pardo claro, finos y definidos; textura arcillosa (fina); estructura masiva; consistencia muy dura, muy firme, pegajosa y muy plástica; pocos poros discontinuos muy finos; pocas raíces muy finas; pH 6.5; límite claro, ondulado a irregular.
59 -70 cm C1	Pardo en húmedo y pardo amarillento en seco con abundantes moteos gris claro amarillento, medianos y prominentes; textura franco arenosa; estructura de grano suelto; consistencia blanda, friable, no pegajosa ni

plástica; comunes poros medios; pequeñas costras de oxidación rojizas a negras; límite gradual, ondulado.

70 – X cm
C2 Pardo oscuro en húmedo y pardo amarillento en seco con abundantes moteos gris claro amarillento, gruesos a medianos y prominentes; textura arenosa guijosa; estructura de grano suelto con tendencia a laminar gruesa, débil; consistencia blanda, friable, no pegajosa ni plástica; comunes poros medios; pequeñas costras de oxidación rojizas a negras.

5.4.2 PERFIL DEL SUELO EN LA MINA DE BARRO ARENOSO

El perfil se describió en una calicata que se excavó aproximadamente a 300 metros al NNW de la intersección de las vías que de La Chamba van hacia el Espinal y el Guamo, en el lote comunitario donde se encuentra la mina de arcilla arenosa. La descripción se hizo en un terreno plano.

Número perfil: LC-2

Unidad geológica de mapeo: Abanico aluvial del Espinal

Unidad pedológica de mapeo: Asociación Espinal

Fecha de descripción: Febrero 20 de 2002

Descripción por: Sergio Lozada

Localización geográfica: Mina de arcilla arenosa en el lote de la comunidad, Vereda La Chamba, Municipio del Guamo, Departamento del Tolima; fotografías aéreas 175 y 176, vuelo C-2658, aproximadamente a 60 metros al oeste del límite E (vía La Chamba-Espinal) y a 100 metros al este del límite S (vía La Chamba-Guamo) del lote.

Posición geomorfológica: Llanura de abanico aluvial distal.

Altitud: 291 metros sobre el nivel del mar

Uso actual de la tierra: No tiene uso. Hay vegetación natural y maleza; hacia la parte sur se excava minas para sacar la arcilla.

Drenaje natural: Pobrementemente drenado.

Condiciones de humedad del suelo: Empozado.

Profundidad efectiva: Superficial a moderadamente profundo.

Presencia de piedras o afloramientos rocosos: Nula.

Presencia de rasgos biológicos: Hormigueros y termiteros ($\pm 5\%$).

Evidencias de erosión: No hay.

Inundabilidad y/o encharcabilidad: Frecuente.

Evidencias de influencia humana: Excavación de minas (huecos en forma circular) y tala de vegetación natural.

Clima: Cálido y seco; bosque seco tropical.

Material parental: Depósitos de abanico aluvial; arenas arcillosas masivas con cantos de roca andesítica y pumítica.

5.4.2.1 Descripción del Perfil Modal

0 - 28 cm A	Gris oscuro en húmedo y pardo oscuro en seco con comunes moteos gris verdoso, medios y tenues; textura franca; estructura masiva con tendencia a granular gruesa a fina, débil; consistencia ligeramente dura, friable, ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; comunes poros finos; esporádicos nódulos ferruginosos rojizos de hasta 2 cm de diámetro; abundantes hormigas, cienpies y lombrices; comunes raíces finas y muy finas, pocas medias; límite gradual, ondulado.
28 - 48 cm B	Gris muy oscuro en húmedo y gris oscuro en seco con pocos moteos gris verdoso, finos y tenues; textura franco-arcillosa; estructura masiva; consistencia dura, firme, pegajosa y plástica; comunes poros discontinuos muy finos; comunes raíces muy finas, pocas finas; pH 6.3; límite claro, irregular a quebrado.
48 - 58 cm C1	Gris amarillento en húmedo y pardo amarillento en seco con pocos moteos gris muy claro medianos y definidos; textura arenosa; estructura de grano suelto; consistencia blanda, friable, no pegajosa ni plástica; comunes poros finos a medios; pequeños nódulos gris oscuro de complejos de arena arcillosa-materia orgánica.
58 - X cm C2	Gris amarillento en húmedo y pardo amarillento en seco con abundantes moteos gris muy claro, gruesos a medianos y prominentes; textura arenosa guijosa; estructura de grano suelto con tendencia a laminar gruesa a muy gruesa, débil; consistencia blanda, friable, no pegajosa ni plástica; comunes poros finos a medios; pequeños nódulos gris oscuro de complejos de arena arcillosa-materia orgánica.

5.4.3 RANGO DE CARACTERÍSTICAS

El suelo es pobremente drenado. En la mina de arcilla lisa la textura del horizonte A varía entre franca y franco-arcillosa; el espesor del horizonte A varía entre 25 y 35 cm. El espesor del horizonte B puede variar entre 22 y 25 cm. El contenido de guijos en el horizonte C varía entre 10 y 25%, sin que exceda de este límite superior. El sustrato de material parental puede encontrarse a profundidades que varían entre 50 y 65 cm.

En la mina de arcilla arenosa el espesor del horizonte A varía entre 20 y 30 cm. El espesor del horizonte B varía entre 19 y 22 cm. El subhorizonte C1 se diferencia del C2 en que el primero presenta mayor alteración y moteos menos prominentes, formados por la alteración de guijos de roca andesítica, abundantes en el subhorizonte inferior.

5.4.4 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO

El suelo se presenta en terrenos planos, y deriva de sedimentos poco consolidados de tamaño arena principalmente. Su cubierta vegetal es de sabana con pastos bajos y maleza. La precipitación en la zona fluctúa entre 1,000 y 1,500 mm. La temperatura media anual es de 28 °C.

5.4.5 DISTRIBUCIÓN Y EXTENSIÓN

Se considera que este tipo de suelo abarca toda la región de la Vereda La Chamba, excepto su porción más oriental donde predominan las terrazas y llanuras aluviales de los ríos Magdalena. Estos suelos se presentan en la llanura del abanico aluvial distal, donde la granulometría de estos depósitos es más fina en comparación con los depósitos más proximales que se encuentran hacia el noroeste.

5.4.6 LITOLOGÍA Y GRANULOMETRÍA

En general, el horizonte A está compuesto de minerales de tamaño arena muy fina hasta media embebidos en una matriz arcillosa; hay presencia de materia orgánica (humus) que puede formar complejos con minerales arcillosos, dando de esta manera el color oscuro característico a estos suelos. Los minerales que se pueden apreciar a simple vista son granos de cuarzo, feldespato y biotitas vermiculitizadas; éstas últimas en forma de láminas pseudo hexagonales que dan visos dorados de apariencia metálica.

En el horizonte B predomina el material arcilloso mezclado con materia orgánica, sin embargo, también se detecta cuarzo y feldespatos en granos de tamaño arena muy fina. Las micas siguen presentes mostrando forma pseudo hexagonal en cristales de hasta 2 mm de largo.

El horizonte C está compuesto principalmente por arena fina a gruesa con esporádicos gránulos de cuarzo, feldespato, micas y minerales oscuros; la presencia de matriz arcillosa disminuye hacia la base. En este horizonte se observan guijos de roca andesítica que pueden alcanzar los 10 cm de diámetro; estos guijos al alterarse se tornan friables, formando moteos de color gris claro.

5.4.7 OTRAS OBSERVACIONES

En el desarrollo de la formación del horizonte argílico en estos suelos, la actividad agrológica ha jugado un papel preponderante debido posiblemente a que las aguas superficiales de irrigación estimulan los procesos de lixiviación. En algunos sectores en donde la actividad agrícola ha sido intensa, el espesor de la capa de arcilla es mayor, mientras que la granulometría del depósito es más fina. En cortes de caminos se ha

observado que en algunas zonas donde no se cultiva, no está presente el horizonte enriquecido en minerales arcillosos.

6 RESULTADOS DE LOS ANALISIS A LAS ARCILLAS LISA Y ARENOSA

6.1 ANALISIS QUÍMICO

En la siguiente tabla están consignados los resultados de los análisis químicos realizados a las arcillas:

Tabla 2. Resultados del análisis químico realizado a las arcillas

TIPO DE ARCILLA	1:1	%	COMPLEJO DE CAMBIO (meq/100 g)						%	ppm
	pH	C.O.	CIC	Ca	Mg	K	Na	B.T.	S.B.	P
Barro Liso	6.5	0.3	17.7	10.4	5.7	0.4	0.3	16.7	93.9	4.2
Barro Arenoso	6.3	0.3	11.6	7.7	3.6	0.2	0.3	11.7	SAT	18.1

meq Calcio/100g * 200 = ppm. meq Magnesio/100g * 120 = ppm.
meq Potasio/100g * 391 = ppm. meq Sodio/100g * 230 = ppm.

SAT = Saturado; B.T. = Bases Totales; S.B.% = Porcentaje Saturación de Bases.

MÉTODOS: Carbón orgánico (C.O.): Walkley-Black; Fósforo (P) disponible: Bray II; Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio): acetato de amonio normal y neutro.

6.1.1 pH

La reacción del suelo es el concepto que se refiere a las relaciones de acidez y basicidad del mismo que influyen tanto en sus características químicas, como físicas. La acidez que se determina con la medida del pH corresponde a los iones hidrógeno de la solución del material arcilloso.

Los valores de pH de las capas arcillosas varían entre 6 y 7; las capas superficiales suelen ser más ácidas, con valores pH de 5 a 6. Por lo general, el pH en estos suelos aumenta con la profundidad, al aumentar el contenido de sales. El material parental es neutro a ligeramente alcalino.

El pH podría disminuir cuando se presentan los períodos lluviosos, ya que como estos suelos son planos, están sometidos a inundaciones (encharcamientos) estacionales y a una subsiguiente lixiviación más intensa.

Tanto el barro liso con pH 6.5 y el barro arenoso con pH 6.3 se consideran ligeramente ácidos; estos es indicador de una alta saturación de bases.

6.1.2 Materia Orgánica

El contenido de materia orgánica es bajo, en los barros liso y arenoso. En el horizonte A, el carbón del suelo es integrado exclusivamente por la materia orgánica. En este horizonte, el carbón orgánico oscila entre 1 y 3% (IGAC,1987). Los contenidos bajos de carbono en se puede deber a que la vegetación ha sido removida y/o al clima cálido y seco que favorece la descomposición rápida de la materia orgánica.

En el horizonte Bt, el contenido de carbón disminuye abruptamente. En estos barros, el carbón orgánico presente está ligado con minerales arcillosos, formando complejos, los cuales le otorgan el color oscuro a las arcillas.

El valor de la materia orgánica en el horizonte C disminuye.

Los materiales orgánicos, debido a las altas temperaturas, se oxidan rápidamente, por lo tanto los suelos deben mostrar contenidos bajos de materia orgánica. El color oscuro se debería a complejos formados por minerales arcillosos-materia orgánica.

6.1.3 CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) y Porcentaje de Saturación de Bases

Gran parte de los componentes de la fase sólida de los barros retienen moléculas o iones, en forma mas o menos permanente; algunos de estos procesos son reversibles y los diferentes iones se retienen e intercambian en cantidades aproximadamente equivalentes. Este proceso se denomina cambio iónico.

Según CHAPMAN (1965), los cationes retenidos en la superficie de minerales del suelo y dentro del enrejado cristalino de algunos minerales y los que hacen parte de ciertos compuestos orgánicos, pueden ser reversiblemente reemplazados por aquellos de soluciones salinas y ácidas. La suma de estos cationes se define como la Capacidad de Intercambio Catiónico y usualmente se expresa en miliequivalentes por 100 gramos del material edáfico al que se le determinó.

Todos los componentes del suelo contribuyen en alguna medida al cambio catiónico.

En razón de la variación de la capacidad de cambio catiónico con el pH al cual ocurre el cambio del tipo de carga y de sus componentes inorgánico y orgánico y a sus interacciones, se ha dividido la CIC, después de muchas investigaciones, en dos componentes básicos de acuerdo con el tipo de carga negativa: Permanente y Dependiente del pH.

La carga permanente resulta de la sustitución isomórfica en las capas tetraédrica y octaédrica de las arcillas en gestación, cuando cationes de valencia alta (por ejemplo Al^{+3} por Si^{+4} en la capa tetraédrica y Mg^{+2} por Al^{+3} en la octaédrica); este proceso es usual en arcillas de relación 2:1.

El componente dependiente del pH resulta del aumento de ionización de ciertos grupos funcionales de la materia orgánica y de OH asociado con las aristas rotas de las láminas arcillosas, con la alofana y con los óxidos hidratados de hierro y aluminio (BUOL et al, 1981). Se conoce también como Capacidad de Intercambio Catiónico Variable (CICV).

La carga permanente es constante a diferentes valores del pH y está saturada con las denominadas bases de cambio (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+ , adheridos a las arcillas y a la materia orgánica) cuando el pH es superior a 5.5. Estos cationes pueden ser cambiados entre sí o con otro ion cargado positivamente de la solución del suelo. Esta carga también se conoce como Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) y es característica de arcillas 2:1 como montmorillonita, vermiculita, illita, entre otras.

El componente variable se caracteriza porque el signo y el valor de la carga dependen del pH; generalmente la carga negativa se desarrolla crecientemente por encima de pH 4. De otra parte, la carga negativa dependiente es mayor entre más alta sea el área superficial del coloide inorgánico o a medida que aumenta el contenido de materia orgánica.

Según las consideraciones de ORTEGA (1994), los barros arenoso y liso presentan un valor de CIC medio.

Los valores de CIC están íntimamente relacionados con los contenidos de arcilla. Sin embargo, el mayor valor presente en el barro liso probablemente se debe a una mayor proporción de minerales alterables y de minerales arcillosos.

Ya se han determinado las amplitudes de CIC para diferentes minerales arcillosos (en meq/100 g de material edáfico):

Caolinita	3 – 15
Esmectita	80 – 150
Illita	10 – 40
Vermiculita	100 – 150
Clorita	10 – 40

Observando que en los barros liso y arenoso los valores de CIC se encuentran entre 11 y 18 meq/100 g, se espera que estos barros contengan moderadas cantidades de caolinita y moderadas a bajas cantidades de vermiculitas y/o montmorillonitas. Además, por presentar valores mayores pero cercanos a 10 meq/100 g de CIC, este material arcilloso se asocia a suelos moderadamente meteorizados, con presencia tanto de minerales primarios meteorizables como de minerales arcillosos secundarios de baja CIC.

Según ORTEGA (1994), el barro liso presenta una alta saturación de bases y el barro liso está completamente saturado.

Los altos valores del porcentaje de saturación de bases indican que estos barros están formados en un suelo no reciente.

En el contenido de bases, el catión predominante es el calcio, seguido de magnesio, sodio y potasio. La relación Ca/Mg se encuentra en 2/1 para los barros liso y arenoso. El potasio y el sodio existen en el complejo de sorción en cantidades pequeñas.

La relación Ca/Mg es ideal en estos barros, pero las altas relaciones Mg/K y Ca/K muestran deficiencias de potasio, sobre todo en el barro arenoso. Se considera que el valor de CIC de potasio es bajo en el barro arenoso y alto en el barro liso.

6.1.4 Fósforo

El fósforo disponible es escaso. El barro arenoso presenta niveles moderados de fósforo; el barro liso tiene valores bajos.

6.2 ANALISIS DE ELEMENTOS (% en masa)

Tabla 3. Resultado del análisis de elementos como óxidos (% en masa)

TIPO DE ARCILLA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Barro Liso	56.2	20.2	5.3	2.8	1.8	2.3	1.0
Barro Arenoso	59.3	18.7	4.3	3.2	1.5	2.8	1.0

La mayor cantidad de SiO₂ en la arcilla arenosa se debe a la mayor cantidad de granos de cuarzo; no se descarta la presencia de geles de sílice. Los contenidos de potasio y sodio son muy bajos con respecto a los de calcio y magnesio. La relación Ca/Mg es de 2:1 a 1:1. El contenido de óxidos alcalino y alcalinotérreos indica la presencia de feldespatos y micas; al parecer, el contenido de plagioclasas sería mayor al contenido de feldespato potásico.

La identificación de la mineralogía del material arcilloso es bastante complicada, por el solo hecho de que el tamaño de grano es tan pequeño que resulta difícil su estudio, aún con microscopio óptico. Sin embargo se alcanzan a identificar granos de cuarzo y micas, las cuales son minerales heredados del material parental. Los minerales arcillosos en su mayor parte son resultado de procesos pedogenéticos.

6.3 COMPORTAMIENTO TERMICO

Tabla 4. Resultados del análisis de plasticidad y comportamiento térmico de las arcillas (% en masa)

DETERMINACION	Barro Liso	Barro Arenoso
Humedad a 105°C	2.4	2.0
Pérdidas por Calcínación (105 – 1000°C)	6.2	5.3
Agua de Moldeo, %	33.0	24.4
Contracción de 20 a 105°C	9.6	7.1
Contracción de 105 a 1000°C	10.7	7.6
Color de Quema	Amarillo Rojizo	Amarillo Rojizo

Los barros liso y arenoso presentan humedad baja, siendo mayor en el barro liso debido a que tiene mayor cantidad de arcilla. El porcentaje de pérdidas por calcinación es relativamente bajo y está constituidos por agua, CO₂, carbonatos y materia orgánica. El barro liso se contrae casi un 30% más al ser quemado que el barro arenoso.

6.4 ANALISIS DE SALES SOLUBLES

Tabla 5. Resultados del análisis de sales solubles de las arcillas

TIPO DE ARCILLA	CLASE	RAS	PSI	CATIONES meq/L				
				Ca	Mg	K	Na	SUMA
Barro Liso	N	1.3	1.5	1.0	0.7	0.1	1.2	3.0
Barro Arenoso	N	0.6	2.3	0.9	0.6	0.1	1.4	2.9
Pa	Ce	ANIONES meq/L					meq/100g	
		Sulfatos	Cloruros	Carbonatos	Bicarbonatos	SUMA	CIC	Na
68.3	0.3	0.9	0.6	0.0	1.6	3.1	17.7	0.3
50.5	0.3	0.9	0.5	0.0	1.6	3.0	11.6	0.3

Pa: Porcentaje saturación de agua; Ce: Conductividad eléctrica, milimhos/cm (dS/m); CIC: Capacidad intercambio catiónico; RAS: Relación adsorción de sodio; PSI: Porcentaje saturación de sodio. N: Normal.

Según los resultados de los análisis, estas arcillas son normales en cuanto a la salinidad; presentan bajos niveles de sales solubles y de sodio. Estos valores son menores a los que se pueden encontrar en el horizonte A.

Estos bajos valores de salinidad confirman la no-existencia de minerales formados por sales, como cristales o concreciones de yeso. Con bajos contenidos de sales y de sodio, los minerales arcillosos tienden a estabilizarse, pues no son afectados por agentes dispersantes.

Al no existir carbonatos libres, se evidencia que el proceso de decarbonatación presenta una actuación fuerte, requisito previo para la translocación de arcillas.

6.5 GRANULOMETRIA

La textura de las arcillas se determinó por medio de dos métodos, siendo más preciso el realizado por pipetas:

Tabla 6. Resultados del análisis de granulometría de las arcillas

MÉTODO	TIPO DE ARCILLA	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL
		ARENA%	LIMO%	ARCILLA%	
Bouyoucos	Barro Liso	28	26	46	Ar
	Barro Arenoso	54	20	26	F. Ar. A
Pipetas	Barro Liso	27.1	26.8	46.1	Ar
	Barro Arenoso	51.8	22.5	25.7	F. Ar. A

F: Franco. Ar: Arcilloso. A: Arenoso. L: Limoso.

Se observa que aproximadamente la mitad de las partículas que componen el barro arenoso son de tamaño arena, mientras que aproximadamente la mitad de las partículas que conforman el barro liso son de tamaño arcilla.

El mayor contenido de arcilla otorga al material mayor plasticidad, estabilidad en los procesos de secado y horneado, bajo punto de fusión y alta resistencia física y química en producto terminado.

Si tenemos en cuenta la granulometría mayor a 1/2 de milímetro, que es la que podría afectar las cerámicas en caso de presentar "oropel" (biotitas vermiculitizadas), tenemos que:

Tabla 7. Relación entre la granulometría y el contenido de micas (oropel)

Tipo de Arcilla	% \geq arena gruesa	% biotitas vermiculitizadas	% partículas que pueden generar "oropel"
Barro liso	2.78	12	0.3
Barro arenoso	8.15	16	1.3

Vemos que el barro arenoso posee casi cuatro veces la cantidad de minerales que causan el "oropel" en comparación con el barro liso, lo cual indica que es el barro arenoso la materia prima que debe ser cuidadosamente tratada al momento de preparación y beneficio de material.

6.6 ANALISIS MINERALÓGICO

El conocimiento de la constitución de las fracciones arena, limo y arcilla es una ayuda indispensable para esclarecer y comprender los efectos dinámicos de las propiedades físicas y químicas. Es también importante porque a través de éste análisis es factible dilucidar y corroborar el grado de intemperismo y la etapa evolutiva del material edáfico, ya que la mineralogía de arcillas es un resultado, en su mayor parte, de la pedogénesis.

El análisis de la fracción arena se realizó mediante identificación en el microscopio óptico; el análisis de la fracción arcilla se realizó mediante la interpretación de los difractogramas obtenidos mediante la difracción de Rayos X.

6.6.1 Fracción Arena

El análisis mineralógico de la fracción arena pone en evidencia que el conjunto de minerales abarca un número relativamente grande de especies.

Tabla 8. Resultados del análisis mineralógico de la fracción arena (%)

MINERAL	Barro Liso	Barro Arenoso
Cuarzo	27	25
Plagioclasas	19	23
Mica Biotita	12	16
Fragmentos Líticos	14	11
Hornblenda	14	8
Feldespato Potásico	3	4
Vidrio Volcánico	6	3
Mica Muscovita	2	3
Oxidos	2	4
Magnetita	tr	1
Piroxenos	tr	tr
Circón	tr	tr
Fitolitos de Opalo	tr	tr
Zoisita	tr	-

Un hecho sobresaliente que se desprende del análisis mineralógico de la fracción arena es que los barros liso y arenoso presentan minerales de fácil descomposición por intemperismo químico como feldespatos, hornblenda, biotita y piroxenos, que en conjunto alcanzan cifras cercanas al 50%.

El mineral más importante es el cuarzo, que aparece en los dos tipos de barro. Este mineral es muy estable a los procesos intempéricos químicos.

Las plagioclasas también alcanzan altos porcentajes, lo cual está acorde con la naturaleza de los materiales geológicos a partir de los cuales se desarrollan estos horizontes arcillosos: arenas tobáceas con cantos de roca andesítica y pumítica ricos en plagioclasas. El feldespato potásico está presente en bajas cantidades

Los anfíboles (hornblenda) y la biotita siguen en importancia a los feldespatos; su presencia y cantidad está también ligada con los materiales parentales. Es sobresaliente el hecho que la biotita se presente en láminas pseudo hexagonales comúnmente vermiculitizadas e isotropizadas.

Los piroxenos (hiperstena – enstatita) se encuentran en porcentajes muy bajos.

El vidrio volcánico aparece en cantidades bajas, y es obvio suponer que fue transportado desde las partes altas de la Cordillera Central.

Los óxidos, principalmente de hierro (hematita-goetita y magnetita) se encuentran en bajas cantidades.

El circón está presente en cantidades muy bajas y podría proceder de rocas cristalinas. Es un mineral muy estable frente a los procesos de alteración química.

Los fragmentos líticos en los barros liso y arenoso son predominantemente tobáceos.

Atendiendo a la composición mineralógica de la fracción arena de los barros liso y arenoso analizados, se puede aseverar que éstos provienen del mismo material parental, también poseen reserva de minerales de fácil descomposición, que al ser alterados paulatinamente ceden estructuras básicas para la formación de arcillas.

Por lo anterior, este material no ha evolucionado completamente, pues posee minerales alterables químicamente. Esto quiere decir que la formación de estos barros no es muy antigua, ya que los procesos de intemperismo han actuado moderadamente.

En conclusión, la mineralogía de las arenas de los barros liso y arenoso está dominada por cuarzo y feldspatos, asociados con anfíboles (hornblenda) y micas. Esta constitución correlaciona con la naturaleza del material parental (depósitos de abanico aluvial reciente) y con la moderada evolución de los suelos, causada por un clima seco y un drenaje deficiente; estas condiciones determinan que los minerales de fácil descomposición no sean rápidamente afectados por la meteorización química.

6.6.2 Fracción Arcilla

Esta fracción del barro revela los procesos de síntesis pedológica de suelos, aunque puede heredar su composición, en parte, del material parental. Los minerales arcillosos poseen unas propiedades químicas y físicas especiales que los hacen necesarios en el contenido de los barros para ser utilizados en cerámica y alfarería.

Tabla 9. Datos de difracción de rayos X, para minerales comúnmente encontrados en suelos, bajo condiciones de saturación con Mg y solvatando con glicerol (JACKSON, 1964).

Minerales	Difracción (Å)										
Caolinita	7.5	-	3.6	-	2.4						
Halloisita	10.7	-	10.0	-	3.4						
Mica-Illita	10.1	-	5	-	3.3						
Vermiculita	14.4	-	7.2	-	4.8	3.6	-	2.9	-	2.4	
Montmorillonita	17.7	-	8.85	-	5.9	4.3	-	3.5			
Cuarzo	3.3	-	4.25	-	1.8						
Feldspatos	3.2	-	3.25								
Anfíboles	8.4	-	8.5								
Gibbsita	4.85	-	4.4	-	2.4						
Goetita	4.2	-	2.45	-	2.7						
Clorita	14.3	-	7.2	-	4.8	3.6	-	2.9	-	2.4	

Tabla 10. Características generales y de rayos X en arcillas y minerales no arcillosos.

Minerales, relaciones, naturaleza de la capa octaédrica, expansión	Valor original "d" (Å) y planos respectivos	Muestra saturada con Mg y etilen-glicol d (001)	Muestra saturada con K d (001)	Muestra calentada a 550°C d (001)
Caolinita 1:1 dioctaédrica no expansible	7.15 (001) 3.6 (002)	No cambia	No cambia	Desaparece
Halloisita, deshidratada 1:1 dioctaédrica expansible	7.6 (001) 3.8 (002)	Aumenta a 10 Å	No cambia	Desaparece
Hidromica, dioctaédrica 2:1 no expansible	10 (001) 5 (002) 3.3 (003)	No cambia	No cambia	No cambia
Vermiculita 2:1 Expansible	14 – 7 (004) 4.7 (006) 3.5 (008)	d(002) incrementa a 14.5 Å	Cambio a 11 Å	Cambio a 10 Å
Clorita 2:2 dioctaédrica	14.2 (001) 7.1 (002) 4.7 (003) 3.5 (004)	No cambia	No cambia	No cambia, (001) algunas veces se intensifica

El método utilizado para la identificación de minerales arcillosos es la difracción de rayos X. Para comprender porque esta radiación es conveniente para el estudio de las estructuras cristalinas, se enfocará brevemente el concepto de rayo X.

En un tubo empleado en los difractómetros, los rayos X se producen cuando electrones de alta energía (rápido movimiento) producidos por un filamento (cátodo) y acelerados por un gran voltaje, chocan contra una lámina metálica. Dependiendo de su energía, son capaces de sacar electrones de la órbita más interna; el átomo se ioniza y debido a la redistribución final de los electrones, se emite una radiación. Esta teoría se expone en detalle en BESOAIN (1985).

Un mineral está constituido por átomos y moléculas distribuidos regularmente en el espacio tridimensional a lo largo de los ejes cristalográficos.

Cuando un haz de rayos X con longitud de onda (λ) bombardea un mineral, los electrones de los átomos que encuentra en su trayectoria difunden los rayos X en todas las direcciones. En general la radiación estimulada interfiere entre sí destructivamente, pero dado que las distancias interatómicas (átomos regularmente espaciados) tienen un rango de magnitud comparable a la λ de los rayos X, en algunas direcciones específicas se refuerzan mutuamente produciendo frentes de onda que están en fase. Así, solo en unas direcciones específicas la amplitud de las ondas individuales se sumarán para dar una onda resultante que tenga la intensidad máxima, la cual puede ser registrada. Las distancias interatómicas dentro del mineral producen un único arreglo de difracción

máximo, el cual sirve para identificar el mineral, ya que no existen dos minerales que tengan las mismas distancias en tres dimensiones.

En cuanto al proceso de identificación, la muestra se reduce a polvo muy fino. Se hace incidir rayos X sobre la superficie de éste polvo policristalino, constituido por miles de cristalitas orientados al azar.

El difractor nos entrega un gráfico de difracción, donde los espaciados constantes se traducen en una distribución característica de máximos (picos) que permiten identificar cualitativamente el mineral, la intensidad de estos picos (eje vertical) es proporcional al número de planos que difractan los rayos incidentes, lo cual ocurre a ángulos precisos (eje horizontal). Analizando el área bajo la curva es posible hacer una evaluación semicuantitativa, es decir, calcular la concentración de un mineral específico. A cada pico se le asigna un valor de intensidad (eje Y), y con esta información se procede a identificar el mineral, al cual pertenece el patrón de difracción investigado.

Tabla 11. Análisis mineralógico de la fracción arcilla por medio de difracción de Rayos X (% semicuantitativo).

MINERAL	Barro Liso	Barro Arenoso
Caolinita	++	++
Vermiculita	+	++
Illitas	+	+
Illito-vermiculita	+	++
Integrados	-	+
Interestratificados	-	tr
Plagioclasas	+	+
Feldespato potásico	+	tr
Cristobalita	+	tr
Cuarzo	tr	tr

CONVENCIONES: ++++ Dominante (>50%) +++ Abundante (30-50%)
 ++ Común (15-30%) + Presente (5-15%) tr Trazas (<5%).

6.6.2.1 Identificación

La caolinita presenta un pico diagnóstico a 7.1 Å cuando está saturada con Mg⁺⁺, con K⁺ y solvatada con glicerol. El pico de segundo orden se encuentra entre 3.56-3.58 Å. Es notable la disminución de la intensidad cuando se satura con K⁺. Cuando se calienta a 550°C la caolinita pierde su cristalinidad, lo que hace que los picos desaparezcan. El pico en 7.45 Å (Mg⁺⁺ y solvatando) es representativo de la halloisita. Debido a lo amplio y débil de estos picos, la caolinita está altamente desordenada, es decir, poco cristalizada; probablemente haya también halloisita de 7 Å (deshidratada).

El pico representativo de las illitas se produce a 10 Å al saturar con Mg⁺⁺ y solvatar, y persiste al saturar con K⁺ y calentar a 550°C, diferenciándose así de la montmorillonita y vermiculita; la intensidad del pico aumenta en los dos últimos tratamientos. El pico de segundo orden está a 5 Å. Estas illitas están abiertas o degradadas.

Bajo saturación con Mg^{++} y solvatando (glicerol), la vermiculita genera un pico a 14.4 Å. Se produce un pico de segundo orden a 7.1 Å de baja intensidad (se mezcla con el pico de la caolinita). Bajo saturación con K^+ y calentando, las láminas se colapsan dando un pico a 10 Å. Al no presentarse picos de intensidad media a 4.8 y 3.6 Å, no se trata de vermiculitas verdaderas.

Los picos alrededor de los 12 Å y el alto background entre los picos de 10 y 14 Å indican la presencia de illitas(10-14) de comportamiento vermiculítico.

En la muestra del barro arenoso, el abombamiento de la señal alrededor de 25-20 Å bajo saturación con Mg^{++} y solvatando con glicerol, que tiende a desaparecer al calentar a 550°C, indica la presencia de minerales arcillosos interestratificados de 14 Å de comportamiento vermiculítico-esmectítico, es decir, algunas vermiculitas están transformándose en montmorillonitas.

En la muestra de barro arenoso, el pico débil y amplio de 14 Å de las vermiculitas bajo saturación con Mg^{++} y con glicerol, y el abombamiento leve hacia la izquierda al calentar, indica la presencia de minerales integrados clorito-vermiculíticos.

Los picos de 3.75, 3.3 y 3.2 Å indican la presencia de feldespatos plagioclasas. La identificación específica no es posible.

El feldespato potásico se manifiesta con picos débiles a 3.7 y 3.45 Å bajo saturación con Mg^{++} , glicerol y K^+ .

El cuarzo presenta picos diagnósticos a 3.33 y 4.25 Å al saturar con Mg^{++} y solvatar con glicerol, y se mantienen al saturar con K^+ y calentar a 550°C.

El pico diagnostico de la cristobalita se encuentra a 4.04 Å y no cambia bajo ningún tratamiento. Este mineral es de ambiente volcánico.

6.6.2.2 Interpretación

A pesar de que los barros liso y arenoso provienen de un material parental muy semejante, el barro liso presenta una mayor evolución en cuanto al proceso de enriquecimiento de minerales arcillosos. En este barro las illitas y vermiculitas se han logrado transformar a caolinita, gracias a una pérdida de sílice; también los feldespatos presentan mayor alteración a caolinita.

Esta diferenciación entre los barros liso y arenoso puede tener origen en las características de la superficie, puesto que los terrenos y alrededores en la mina del barro liso permanecen mucho más tiempo encharcados bajo un flujo de agua lento pero constante, debido quizás al sistema de irrigación de cultivos introducido hace muchos años. Esto hace que existan condiciones de lixiviación moderada que favorece la formación de caolinitas e illitas, en mayor grado que en los terrenos del barro arenoso.

Es notable, además, el alto background hasta 7 \AA y la ausencia de picos muy bien definidos en los difractogramas de los barros liso y arenoso, esto podría indicar la presencia de materiales no cristalinos, pero en muy baja cantidad. Con base en el carácter casi neutro de estos barros, su alta saturación de bases y moderada CIC, estos materiales amorfos no estarían constituidos por alofana. Si estos materiales están presentes, serían quizás sesquióxidos hidratados amorfos de hierro, subproductos del proceso intempérico químico. Tampoco se descarta la posibilidad de que haya muy bajos contenidos de geles de sílice y alúmina.

En general, los minerales arcillosos que componen los barros liso y arenoso son la caolinita, illitas y vermiculitas. En cantidades bajas se encuentran el cuarzo, feldespatos, cristobalita, interestratificados e integrados 2:1-2:2.

En lo concerniente a la génesis de los constituyentes de la fracción arcilla, se puede afirmar que el cuarzo, los feldespatos y la cristobalita son heredados del material parental, mientras que los restantes son resultado, en su mayor parte, de procesos pedogenéticos.

La caolinita aparece como producto residual de la alteración química intensa de los feldespatos y otros minerales de fácil descomposición, en medios con reacción cercana a la neutralidad pero con tendencia a lixiviación de bases.

La formación de vermiculita se genera a partir del material parental, ya que las micas (biotita) se pueden transformar en vermiculita a través del proceso de depotasicación, que favorece la salida del potasio y la entrada de agua y otros cationes en el espacio interlaminaar de las micas. Este mecanismo ha sido propuesto por JACKSON (1964) para explicar el origen de muchas arcillas de tipo 2:1.

El mineral integrado 2:1-2:2 (clorito-vermiculítico) se origina al precipitar aisladamente polímeros de aluminio en el espacio interlaminaar de arcillas de relación 2:1 (JACKSON, 1964).

Los minerales interestratificados son estructuras arcillosas que resultan del ordenamiento a lo largo del eje c cristalográfico de vermiculitas y esmectitas, que se origina en los estados intermedios de la alteración micácea y/o arcillosa (MALAGÓN, 1978).

En el trabajo de FRIPIAT & HERBILLON (1971) se menciona que en medios tropicales es favorecido el proceso de neosíntesis a partir de materiales alterados, mas que una transformación en estado sólido para la mayoría de las reacciones que dan lugar a minerales arcillosos, especialmente illitas, vermiculitas y esmectitas.

6.6.3 Caracterización Mineralógica Total

Tabla 12. Porcentaje aproximado del contenido de minerales en las arcillas, relacionando los análisis de granulometría y de identificación mineralógica de las fracciones arena y arcilla

BARRO LISO		BARRO ARENOSO	
MINERAL	%	MINERAL	%
Caolinita	20	Plagioclasa	15
Plagioclasa	16	Cuarzo	15
Cuarzo	11	Caolinita	9
Feldespatos potásico	10	Biotita	9
Illitas	10	Illito-vermiculitas	8
Cristobalita	8	Vermiculitas	7
Illito-vermiculitas	6	Illitas	7
Fragmentos líticos	4	Fragmentos líticos	6
Hornblenda	4	Integrados	6
Vermiculitas	4	Feldespatos potásico	5
Biotita	3	Hornblenda	4
Vidrio volcánico	2	Oxidos	2
Moscovita	1	Interestratificados	2
Óxidos	1	Moscovita	2
Magnetita	tr	Vidrio volcánico	2
Piroxenos	tr	Cristobalita	1
Fitolitos de Opalo	tr	Magnetita	tr
Circón	tr	Piroxenos	tr
Zoisita	tr	Fitolitos de Opalo	tr
		Circón	tr

6.7 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La interacción entre los factores determinan los procesos de formación implicados en la génesis de los suelos, dando lugar a un conjunto de caracteres medibles (físicos, químicos y morfológicos).

Las clases de suelo que conforman las categorías del sistema, se definen con parámetros precisos (horizontes y características diagnósticas); sin embargo, estas características de diferenciación no se aplican uniformemente a un mismo nivel de abstracción, debido a que los suelos son muy complejos y variados.

Tabla 13. Algunas características del horizonte enriquecido en arcilla

Edad del Material Parental	3,400 años
pH en agua 1:1	6.3 - 6.5
% Saturación de Bases	93 - 100
CIC (meq/100 g)	11 - 18
Carbonatos (meq/L)	0
% Materia Orgánica	0.5 - 0.6
% Limo + Arcilla	45 - 70
% Minerales de Fácil Alteración	34

Estos suelos presentan una intensidad de translocación arcillosa moderada, un grado de transformación mineral bajo a mediano y un grado de lixiviación moderado.

Teniendo en cuenta las características de las arcillas consignadas en la Tabla 13, además de la alta saturación de bases, presencia de un horizonte A oscuro y un horizonte Bt con acumulación moderada de arcilla entre los 30-40 cm de profundidad, se puede inferir que el suelo presenta un moderado grado de evolución.

El horizonte A tiene un período de formación de 100-1,000 años, el proceso de decarbonatación requiere una duración de 200-300 años y el horizonte B enriquecido en arcilla tiene un tiempo de formación de 1,000-10,000 años.

Según las expresiones antes mencionadas y las características de las arcillas, éstas pueden haber empezado a acumularse hace 1,000 años. Al parecer, los suelos en la región de La Chamba tiene una edad entre 2,000 y 3,000 años.

7 EVALUACIÓN MINERA DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLA EN LA VEREDA ARTESANAL DE LA CHAMBA

7.1 CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO

Son cuerpos tabulares de arcilla sobre arenas aluviales y cantos de composición andesítica y pumítica. Estos cuerpos son horizontales y están dispuestos en todo el paraje de La Chamba.

Los depósitos de material arcilloso se explotan en dos lotes. El barro liso se encuentra en un lote de 42,600 m² de propiedad de Artesanías de Colombia, en el cual un sector de 9,760 m² está destinado para la extracción de arcillas; el espesor promedio del depósito es de 23 cm. El barro arenoso se explota parcialmente en un lote con un área aproximada de 48,700 m² de propiedad de la comunidad; el espesor promedio del depósito es de 20 cm.

7.2 MÉTODO ACTUAL DE EXPLOTACIÓN

La explotación de arcilla para las actividades alfareras se realiza a cielo abierto en numerosos sitios, dejando tras de sí huecos y zanjas distribuidos en forma anárquica por todo el sector, los cuales no se vuelven a tapar originando zonas pantanosas en épocas de invierno. La profundidad promedio de estos huecos es de 50 cm.

El material es arrancado manualmente con ayuda de barretones y palas. Se carga en costales que son transportados a lomo de mula hasta cada vivienda.

Actualmente, según encuesta realizada a los artesanos, de estas minas extraen arcilla aproximadamente 60 talleres familiares, cada uno de las cuales extrae al mes aproximadamente 999 kg de barro arenoso y 760 kg de barro liso, para una explotación total mensual promedio de 60 tn de barro arenoso y 45 tn de barro liso.

Como en esta zona se ha explotado esta arcilla desde hace muchos años, se tiene la experiencia de que después de extraído el nivel arcilloso, se ara o rastrilla el terreno y se cultiva, volviéndose a generar de esta manera el mismo material, en un año aproximadamente. Sin embargo, algunos artesanos comentan que para encontrar arcilla de muy buena calidad en un lugar ya explotado, se debe esperar mínimo dos años.

En los últimos años se ha intensificado la presencia del "oropel" en la arcilla, el cual no es más que pequeñas hojuelas de micas (biotitas vermiculitizadas). Si las micas alcanzan un tamaño mayor a 0.5 mm, y no son eliminadas de las arcillas antes de mezclarlas y formar la pasta para el moldeo, éstas pueden presentar problemas en el momento de la cocción de las cerámicas, ya que éstas micas tienden a contraerse con el calor y revientan la capa de barniz que recubre las piezas; estos defectos le restan belleza a las cerámicas, disminuyendo su calidad, y por tanto, su comercialización.

7.3 PLAN CONCEPTUAL DE EXPLOTACIÓN PROPUESTO

7.3.1 Planificación

7.3.1.1 Exploración y geología del depósito.

Como ya se ha mencionado en este documento, el depósito de arcillas en la Vereda La Chamba es formado por varios procesos: la alteración de sedimentos poco consolidados en la parte distal del abanico aluvial del río Coello, llamado actualmente Abanico del Espinal, formado aproximadamente hace 3,400 años; la lixiviación de materiales transportados por las aguas superficiales y traslocación de minerales arcillosos de otros horizontes del suelo. De esta manera, se crea un horizonte enriquecido en minerales arcillosos en forma de capa de 15 a 30 cm de espesor, con sus límites superior gradual y ondulado, e inferior claro y quebrado.

7.3.1.2 Evaluación de las reservas del Material Arcilloso

La exactitud del cálculo o valoración de la cantidad del material, depende del grado de desarrollo de las labores de apertura o reconocimiento y del carácter del yacimiento. Cabe distinguir entre reservas probadas, probables y posibles.

7.3.1.2.1 Reservas probadas (o seguras)

Los contornos de las reservas se conocen de un modo coherente, o la configuración de las mismas está asegurada por una serie de labores muy juntas.

El cálculo de las reservas probadas no es más que un problema volumétrico. En un yacimiento de forma plana y de potencia variable, se multiplica su superficie por la media aritmética de los espesores.

Los siguientes son los resultados de las observaciones que se hicieron por medio de apiques en las dos minas.

Tabla 14. Resultados de las excavaciones realizadas en las minas

No. de Punto de Muestreo	ESPESOR (centímetros)		UBICACION
	Capa vegetal	Capa de arcilla	
1	34	25	Lote de barro liso
2	30	20	" "
3	40	23	" "
4	19	25	" "
5	35	25	" "
6	32	25	" "
7	26	25	" "
8	35	26	" "
9	28	22	" "
10	22	20	" "
11	30	21	Oeste del lote de barro liso
12	28	20	Este del lote de barro liso
13	20	20	Lote de barro arenoso
14	22	20	" "
15	23	22	" "
16	26	20	" "
17	18	20	" "
18	28	20	" "
19	28	18	" "
20	20	23	" "

NOTA: Se observó que los límites entre horizontes son poco claros y su topografía es ondulada hasta quebrada, llegando a variar el espesor de las capas vegetal y arcillosa hasta en cinco centímetros en un mismo punto de muestreo.

Debido a que el espesor de la capa de arcillas es heterogéneo, ya que sus límites son muy irregulares, no es correcto realizar un cálculo de reservas con base en un mapa de curvas isópacas (espesores iguales) con los datos obtenidos de los apiques excavados, ya que podrían dar una idea equívoca de la geometría del yacimiento.

Por esto, para realizar el cálculo del volumen de arcillas se tomó la media aritmética de los datos obtenidos.

Tabla 15. Media aritmética de las capas vegetal y arcillosa

MINA	HORIZONTE	Espesor promedio
BARRO LISO	Capa vegetal	30 cm
	Capa de arcilla	23 cm
BARRO ARENOSO	Capa vegetal	23 cm
	Capa de arcilla	20 cm

A continuación se hace un cálculo de las reservas probadas de los depósitos de barro liso y arenoso en la vereda La Chamba. El valor del espesor de la capa arcillosa se ha tomado de las observaciones realizadas en campo y la información suministrada por los artesanos de la región. El valor de superficie de los lotes se obtuvo midiendo la longitud y disposición de los linderos y usando una cuadrícula a escala.

Se aclara que en los dos lotes hay zonas adyacentes a quebradas, vaguadas o zanjas que están cubiertas por bosque de galería, las cuales no son aptas para la explotación de la arcilla. Estas zonas no fueron tenidas en cuenta en el cálculo de las reservas del material arcilloso.

Barro Liso:

La arcilla denominada "barro liso" se extrae en una porción del lote de propiedad de Artesanías de Colombia.

Area total del lote = **42,600 m²**

Area de las zonas con bosque de galería y/o zona no explotable = **9,650 m²**

Area de la zona actualmente explotable = **9,760 m²**

Area de la zona actualmente dedicada a cultivos = **23,190 m²**

Espesor promedio = **0.23 m**

Se asume, según las observaciones en campo, información de los artesanos y fotografías aéreas, que el 50% del área actualmente explotable está explotado.

Area por explotar de la zona actualmente explotable = **4,880 m²**

Area por explotar de la zona explotable de todo el lote = **28,070 m²**

Volumen del depósito de barro liso en la zona actualmente explotable = **1,122.4 m³**.

Volumen del depósito de barro liso en la zona dedicada a cultivos = **5,333.7 m³**

Volumen del depósito de barro liso en todo el lote = **6,456.1 m³**

La densidad obtenida para el barro liso recién extraído (terrones) es de **1.37 g/cm³**; y sabiendo que

$$\text{densidad} = \text{masa} / \text{volumen}$$

podemos hallar las reservas en toneladas métricas:

Reservas de barro liso en la zona actualmente explotable = **1,537.7 tn**

Reservas de barro liso en la zona actualmente dedicada a cultivos = **7,307.2 tn**

Reservas de barro liso en todo el lote = **8,844.9 tn**

Barro Arenoso:

La arcilla denominada "barro arenoso" se extrae del lote de propiedad de la comunidad artesanal.

Area total del lote = **48,700 m²**

Area de las zonas con bosque de galería y/o zona no explotable = **4,800 m²**

Area explotable = **43,900 m²**

Espesor promedio = **0.20 m**

Se asume, según las observaciones en campo, información de los artesanos y fotografías aéreas, que el 35% del lote se encuentra recientemente explotado.

Area por explotar = $43900 \text{ m}^2 - 15,365 \text{ m}^2$ (35%) = **28,535 m²**

Volumen del depósito de barro arenoso en todo el lote = **5,707 m³**.

La densidad obtenida para el barro arenoso recién extraído (terrones) es de **1.5 g/cm³**

Reservas de barro arenoso en todo el lote = **8,560.5 tn**

Estas reservas son factibles de ser recuperadas totalmente debido a la disposición geométrica del depósito y a la escasa profundidad en que se encuentra.

7.3.1.2 Reservas probables (o indicadas)

Las reservas se reconocen por medio de labores muy separadas.

Según datos entregados por los artesanos, en años anteriores se ha extraído arcilla de otros lugares distintos a las minas actuales; incluso, se ha extraído barro "mixto", es decir, su textura permite ser usada directamente para elaborar la pasta de moldeo, sin necesidad de mezclarse con otra arcilla.

En sectores como Tres Esquinas y El Olvido, al norte y al oriente de La Chamba, respectivamente, se encuentra barro mixto, así como en predios de Carmen Torrijos; en

predios de Beatriz Garcés y cerca de la antigua escuela de cerámica se encuentra barro arenoso, mientras que en predios de Mercedes Prada se ha extraído barro liso. En veredas adyacentes a La Chamba como Chipuelo se extrae barro mixto en grandes cantidades.

Todas estas manifestaciones presentan las mismas características que en las minas actuales, tales como espesor entre 15-30 cm, bajo la capa vegetal de 20-40 cm, y sobre "peñón" o arenas arcillosas poco consolidadas con cantos de andesitas y/o pumitas.

Debido a las anteriores evidencias, toda la superficie de La Chamba, exceptuando las llanuras aluviales actuales y antiguas del río Magdalena, puede contener arcilla.

Se han calculado unas reservas probables superiores a 1.5 millones de toneladas métricas en la vereda La Chamba.

7.3.1.2.3 Reservas posibles (o pronosticadas).

Pueden deducirse del conocimiento de las posibilidades y analogías geológicas.

Debido a los datos mencionados anteriormente y al conocimiento de extracción de una arcilla arenosa en la mina La Conejera, vereda El Colegio, municipio de Flandes, con características muy semejantes a las arcillas de La Chamba, se puede inferir que el área de la parte más distal del antiguo abanico aluvial del río Coello, en cercanías al río Magdalena, pero sin incluir los aluviones recientes de éste, pueden presentar el horizonte arcilloso, ya que tanto el material parental, el clima y el tiempo de evolución son, por no decir que los mismos, bastante similares.

Las reservas posibles son bastante grandes (podrían alcanzar los 30 millones de toneladas), pero están esparcidas en un área también muy grande, lo que no hace viable su explotación masiva.

7.3.1.3 Vida y ritmo de explotación.

El ritmo de explotación, es decir, las toneladas métricas de material arcilloso producidas por año, influye determinadamente en el estudio de viabilidad de la mina. Este ritmo vendrá marcado fundamentalmente por el mercado de las cerámicas, que señalará la producción anual factible del material.

El concepto de vida de la explotación será el resultado de dividir las reservas probadas por el ritmo.

$$\text{Vida (años)} = \frac{\text{Reservas}}{\text{Ritmo}} = \frac{\text{tn}}{\text{tn/año}}$$

El ritmo de explotación actual se calculó con base en la información suministrada por los artesanos de La Chamba.

En esta vereda existen **60 talleres** que elaboran cerámicas con arcilla extraída de los lotes en estudio. De estos talleres, 5 son grandes y 55 son pequeños.

Un taller grande produce más de 1,000 piezas de cerámica por mes.

La cantidad de arcilla extraída por un taller grande es en promedio de 1.73 tn/mes para el barro arenoso y de 1.29 tn/mes para el barro liso. La cantidad de arcilla extraída por un taller pequeño es en promedio de 0.93 tn/mes para el barro arenoso y de 0.71 tn/mes para el barro liso.

Según lo anterior, los 5 talleres grandes extraen 8.64 tn/mes de barro arenoso y 6.47 tn/mes de barro liso, mientras que los 55 talleres pequeños extraen 51.15 tn/mes de barro arenoso y 39.16 tn/mes de barro liso.

En conclusión, el ritmo de explotación en el lote de barro arenoso es de 59.79 tn/mes y en el lote de barro liso es de 45.63 tn/mes.

Según este ritmo de explotación actual, se logra calcular el tiempo de duración de estas reservas:

Barro Liso:

Reservas de la zona actualmente explotable =	1,537.7 tn
Reservas de la zona dedicada actualmente a cultivos =	7,307.2 tn
Reservas de la zona explotable de todo el lote =	8,844.9 tn
Ritmo de explotación =	547.56 tn/año
Duración de las reservas de la zona actualmente explotable =	2 años y 10 meses
Duración de las reservas de la zona dedicada a cultivos =	13 años y 4 meses
Duración de las reservas de la zona explotable de todo el lote =	16 años y 2 meses.

Barro Arenoso:

Reservas de la zona explotable de todo el lote =	8,560.5 tn
Ritmo de explotación =	717.42 tn/año
Duración de las reservas de la zona explotable de todo el lote =	11 años y 11 meses.

Un factor que puede ser importante en la extracción de la arcilla es la eficiencia en el proceso; por esto, se ha calculado la duración de las reservas con un consumo de arcillas que al momento de la extracción desperdicie el 10% del material:

Barro Liso:

Zona actualmente explotable =	2 años y 6 meses
Zona actualmente dedicada a cultivos =	12 años y 2 meses
Zona explotable de todo el lote =	14 años y 8 meses

Barro Arenoso:

Zona explotable de todo el lote = **10 años y 10 meses**

Como se mencionó anteriormente, estos depósitos no son factibles de sufrir renovación, a pesar de lo mencionado por algunos artesanos, debido a que el proceso de transformación y/o neoformación de minerales arcillosos y su posterior acumulación en un horizonte enriquecido notablemente por estos minerales requiere, según varios autores, más de 100 años. Es probable que los artesanos encuentren arcilla en un sitio ya explotado debido a que este material arcilloso saturado en agua puede comportarse como un gel, lo cual le permitiría moverse bajo un flujo lento, depositándose en zonas donde ya se ha extraído la arcilla; sin embargo, no se estaría generando o renovando el material, simplemente se estaría trasladando de un lugar a otro.

7.3.1.4 Observaciones

Las zonas asignadas para explotar el material tienen una pendiente menor al 3%, la cual da gran estabilidad al terreno. Al ser la capa vegetal de un espesor bajo, no representa problema en el caso de ser acumulada en pilares, pues estos serán pequeños y de baja altura.

El proceso de minería no produce escombros de ninguna clase. El material de descapote, es decir, la capa vegetal, se redistribuirá como relleno de las áreas ya explotadas. Este material debe situarse sobre lugares donde no dificulten los trabajos de excavación ni las vías de acceso al frente de trabajo.

7.3.1.5 Secuencias de la explotación.

Se deberá comenzar a explotar el material desde la zona donde presente mejor calidad, esto es, donde contenga menores cantidades de oropel y muestre mayor espesor. Es conveniente establecer con tiempo suficiente el lugar al cual se trasladaran las labores mineras una vez se haya explotado totalmente el material, según las reservas calculadas anteriormente.

7.3.2 Diseño del método de explotación

7.3.2.1 Métodos posibles.

De acuerdo a los antecedentes es necesario implementar un método de explotación más adecuado, que sea semimecanizado (con uso del bulldozer o pala mecánica) y que conserve orden en los frentes de extracción. El método más adecuado para implementarse es el de transferencia, es decir, luego de efectuar la excavación del primer bloque o hueco

inicial, la capa vegetal de los siguientes es vertido en el propio hueco de las fases anteriores.

7.3.2.2 Infraestructura minera.

Las inversiones necesarias para el método propuesto son mínimas y no requieren infraestructura con respecto a energía o agua; solo se hará necesario el alquiler periódico de maquinaria pesada en fechas que deberán ser previamente establecidas por la Cooperativa y el Comité Educativo Ambiental. Es necesario especificar la(s) vía(s) de acceso de la maquinaria al momento de la extracción, y si es el caso, adecuarlas.

7.3.2.3 Diseño previo de la geometría de zanjas, frentes de explotación y accesos.

El método de explotación a implementar en la mina de barro liso deberá realizarse por franjas y llevará orden en los frentes de explotación.

El primer sector a explotar debe ser el que abarca las áreas recientemente explotadas. La distribución de los frentes de explotación puede iniciarse sobre el límite occidental del lote, empezando la extracción en el norte y continuándola hacia el sur. Una vez se llegue al límite sur de la zona en explotación, se reinicia el proceso con otra franja al oriente de la anterior, y así sucesivamente.

Para llevar un mejor control en el terreno, las franjas deben tener un ancho establecido, el cual puede ser de 10 metros. Este método propuesto es factible de implementarse en la mina de barro arenoso, con la diferencia de que el lote que contiene este barro tiene una forma más irregular, por lo tanto es necesario tener sumo cuidado al realizar las mediciones y demarcaciones de las franjas de explotación.

Según los datos calculados sobre la cantidad de materia prima requerida por los artesanos, en un mes los 60 talleres artesanales extraen **45.63 tn de barro liso**. Relacionando esta cifra con la densidad del barro y el espesor del depósito, se calcula que el área a explotar para extraer la cantidad de barro liso requerida es de **144.9 m²**. Por lo tanto, en la primera franja se deberá explotar un bloque de 10 m de ancho por 14 m 50 cm de largo, el cual deberá alcanzar para un mes de trabajo. Al mes, se vuelve a extraer la arcilla en un segundo bloque con las mismas dimensiones al sur del primer bloque, y así sucesivamente.

En el caso del barro arenoso, los 60 talleres requieren **59.79 tn al mes**, por lo que el área a explotar para un mes de trabajo es de **199.3 m²**, es decir, aproximadamente un bloque de 10 metros de ancho por 20 metros de largo.

7.3.2.4 Optimización de la explotación.

Para lograr un alto nivel de eficiencia en la explotación de arcillas, es necesario que no se permita la extracción de manera desordenada y sin control por parte de la comunidad. Además, el artesano ceramista emplea una parte importante de su tiempo y esfuerzo en la extracción y preparación de las arcillas. El ingenio y la habilidad del artesano son desaprovechados durante la consecución de la materia prima. Por lo tanto, se recomienda que la Cooperativa de Artesanos de La Chamba y el Comité Educativo Ambiental conformen un grupo de personas para que se dedique a extraer la arcilla en fechas a establecer.

En el caso que se adopte el método propuesto, la extracción debe ser mensual (sin embargo, este período dependerá de la disponibilidad de la maquinaria), llevando un control para cada bloque explotado donde se registren los siguientes datos: fecha de explotación, área y ubicación del bloque, volumen y/o peso del material extraído, costo de la extracción (alquiler del bulldozer o la pala mecánica, jornales de obreros, etc.) y observaciones, tales como consistencia del material, porcentaje aproximado de oropel, y las que se consideren pertinentes. Este registro será realizado por un supervisor encargado adscrito al Comité Educativo Ambiental.

Se debe evitar llevar a cabo la extracción de la arcilla en días lluviosos, ya que se podría afectar la consistencia del material y su óptima selección. La lluvia también puede perjudicar el rendimiento de la maquinaria e incomodar a los trabajadores.

Se recomienda extraer la arcilla lisa en un día, y al siguiente extraer la arcilla arenosa.

Como transición a este método de explotación, se puede extraer la materia prima en cantidades que satisfagan la capacidad de los equipos de prueba adoptados para el beneficio de arcillas, la cual es de **5 tn de pasta al mes**. Para obtener esta cantidad de pasta se requieren **2.83 tn** de arcilla arenosa y **2.17 tn** de arcilla lisa; sin embargo, según los datos recolectados por los ingenieros sobre el porcentaje de humedad de las arcillas, el cual es mayor en el barro recién extraído, se necesita extraer **3.24 tn** de barro arenoso y **2.59 tn** de barro liso; esto quiere decir que se debe explotar mensualmente un bloque de **10.8 m²** (2 m * 5 m 40 cm) en la mina de barro arenoso y un bloque de **8.2 m²** (2 m * 4 m 10 cm) en la mina de barro liso. De esta manera se extrae la cantidad necesaria de arcilla para conformar las 5 tn de pasta mensuales requeridas.

La explotación de las anteriores superficies se podría realizar completamente un trabajo manual, debido a que el área es pequeña y no se justificaría la inversión en el alquiler de maquinaria.

7.3.3 Operación Minera

7.3.3.1 Preparaciones.

Antes de extraer el material arcilloso se debe retirar la capa vegetal, la cual tiene un espesor promedio de 30 cm en la mina de barro liso. Para ello es necesario utilizar un bulldozer o una pala mecánica, que empuje esta capa y la apile en el extremo sur de la zona en explotación, donde se conservará para el posterior relleno del bloque explotado. La otra posibilidad es que la capa vegetal se disponga en el bloque explotado en la fase anterior.

7.3.3.2 Arranque.

La arcilla se arrancará manualmente, con ayuda de picas, barretones y palas, ya que debido al espesor irregular del horizonte arcilloso y a su composición algo heterogénea requiere selección para su extracción. Se tendrá especial cuidado en no mezclar la arcilla con las arenas subyacentes o "peñón", pues la adición de este material podría modificar sustancialmente las propiedades físico-químicas de la arcilla.

7.3.3.3 Carga y transporte.

Al momento de la extracción del material, los obreros encargados depositarán la arcilla en una volqueta. Una vez cargada completamente, se transportará la arcilla a un punto de almacenamiento a definir, el cual estará adyacente al lugar de beneficio y preparación de arcillas. El alquiler de la volqueta es recomendable debido a su gran capacidad de carga y maniobrabilidad al momento de descargar el material, pero en su defecto, se podrá utilizar una buena camioneta de platón grande. Se harán los viajes que sean necesarios desde la mina al punto de almacenamiento.

7.3.3.4 Servicios para la mina.

Una vez explotado un bloque, se restaura mediante relleno (con el bulldozer o la pala mecánica) con la capa vegetal acumulada en la parte sur de la zona en explotación. Estos bloques rellenos pueden ararse y destinarse para cultivos.

7.3.4 Beneficio de Arcillas

El punto de almacenamiento deberá estar cubierto para proteger la arcilla de la contaminación y la lluvia. Se delimitarán dos espacios separados el uno del otro donde se depositarán los barros liso y arenoso. Una vez sea extraída toda la arcilla de un tipo, por ejemplo, el barro liso, se hará una trituración inicial y se mezclará para homogeneizar el material. Luego se utilizará una zaranda para retirar raíces, guijarros y otros elementos

indeseables. Posteriormente se pasa al secado de la arcilla, el cual será bajo techo por medio de tejas de plástico que permitan el paso de la luz y el calor del sol.

Luego se pasa al proceso de molido de la arcilla, según métodos establecidos por los ingenieros. Para eliminar la mica (oropel) se debe moler la arcilla y retirar las partículas con un tamaño entre 2 mm y 0.5 mm por medio de mallas, ya que las micas que se encuentran en estos tamaños son las que pueden llegar a afectar las cerámicas en el proceso de horneado. Sin embargo, otro método que podría funcionar para retirar este mineral es el de flotación.

Estos métodos no se han experimentado, por lo que deben realizarse pruebas para valorar su eficiencia en la eliminación del "oropel".

7.3.5 Estudio económico

7.3.5.1 Precio de venta del mineral

Una vez se definan los procesos específicos para el beneficio y preparación de arcillas y se llegue a un material con la calidad esperada, se deberá calcular un valor agregado con el cual se distribuirá la arcilla a los artesanos.

El cálculo de este valor deberá tener en cuenta los costos de operación, tales como alquiler de maquinaria, combustible, energía eléctrica, agua, sueldos de obreros, etc., y la cantidad de arcilla entregada a cada artesano.

7.3.5.2 Estudios de Viabilidad

El método de explotación propuesto deberá ser puesto a prueba y evaluado en los aspectos técnicos, económicos, e inclusive, sociales.

Los costos que intervienen en el estudio de viabilidad son de dos tipos: costos de capital y costos de operación. Existen métodos que permiten estimar uno u otro o los dos. Los costos que se utilizarán en la etapa preliminar de la explotación del yacimiento son solo aproximados. Para ello se pueden tomar de proyectos similares o calcularse con aproximación suficiente por metodologías de estimación como las relaciones de costos, con los cuales a partir de uno o varios costos parciales bien conocidos, se puede calcular el costo total. Actualmente es posible determinar los costos con suficiente precisión, tan solo se debe tener la precaución de que su nivel de detalle sea comparable al de la información que la respalda.

En caso de que no sea viable el alquiler del bulldozer o de una pala mecánica, se deberá trabajar manualmente el proceso de preparación del terreno para la extracción de la arcilla. Los inconvenientes del trabajo manual son principalmente un mayor tiempo dedicado a las labores y la necesidad de contratar un mayor número de obreros.

7.3.6 Plan de Cierre

Una vez se haya explotado toda el área de la zona actualmente explotable en el lote de la mina de barro liso, se procederá a delimitar un nuevo sector del lote para continuar la explotación con el mismo método propuesto. La zona explotada, entonces, podrá arrendarse para cultivos de arroz. Se tendrá cuidado de no bloquear la(s) vía(s) de acceso a la futura zona de explotación, ya que por ella(s) deberá circular la maquinaria pesada.

7.4 MANEJO AMBIENTAL

“El deber de manejar adecuadamente los recursos naturales renovables y la integridad y disfrute del ambiente, es compatible y concurrente con la necesidad de fomentar y desarrollar racionalmente el aprovechamiento de los recursos mineros como componentes básicos de la economía nacional y el bienestar social.”

7.4.1 Evaluación de Impactos

La evaluación es un proceso directamente encaminado a comparar los resultados producidos en distintos lugares, o en distintos momentos. La identificación de los impactos busca los enlaces-clave entre el proyecto minero y el medio ambiente.

Inicialmente se identifican los principales problemas; se recomienda una consulta a la entidad ambiental y también la participación de la comunidad, a fin de evitar que ciertos problemas sean "olvidados". También es necesario evaluar impactos en el plano social, para no perjudicar el bienestar de la comunidad directamente relacionado a la disponibilidad del recurso.

El impacto más severo en el proceso de minería actual afecta el suelo y consiste en la ocupación del suelo fértil por la creación de huecos y zanjas y la acumulación de residuos alrededor de éstos; también el relleno con aguas lluvias de estos huecos puede convertirse en peligro para el ganado, e incluso para las personas.

Como se mencionó anteriormente, se pretende retirar y acopiar la capa vegetal de las zonas ocupadas por la explotación, y una vez extraído el material arcilloso, se procede a rellenar los huecos dejados con la capa vegetal. La recuperación de los terrenos cuando es posible aplicar este método resulta sencilla, pues el remodelado se traduce en una simple nivelación de los materiales superficiales, extendiendo la capa vegetal que se retira de los bloques que se preparan para su explotación. Posteriormente se recupera el terreno al permitir la utilización productiva y ecológica por medio de cultivos.

Impactos sobre el agua superficial se pueden originar al derivarse de las operaciones mineras partículas sólidas que generan turbiedad en las aguas superficiales y en aquellas que fluyen por canales y acequias. Las acciones correctoras a realizar son la no-explotación de la mina en días lluviosos, cargar el material sobre el vehículo de transporte

lejos del canal de irrigación adyacente a las minas y evitar la caída del material durante el cargue y transporte del mismo.

Se genera impacto sobre la morfología y el paisaje al perturbar el carácter global del paisaje, con los huecos dejados después de la explotación. Para corregir este problema, se debe reducir en lo posible el tamaño de las excavaciones y remodelar el terreno alterado utilizando los productos de las excavaciones para rellenar estos lugares.

Por lo tanto, se debe plantar árboles y arbustos que actúen como pantallas visuales; proteger la vegetación existente, cuidando de que no se corten raíces de árboles grandes y fertilizando; hacer revegetación general con las especies autóctonas de la zona y/o cultivos adecuados para la adaptación de la zona afectada por la explotación del paisaje circundante.

Un tipo de contaminación podría ser el ruido generado por la maquinaria pesada, en el caso que ésta se utilice, para lo cual la medida a seguir es disminuir al menor tiempo posible el trabajo de esta maquinaria.

Otras medidas preventivas para implementarse pueden ser:

- Aprovechamiento integral de las materias primas.
- Mejora de las vías ya existentes.
- Disposición de letreros en los lotes indicando la ubicación de los mismos, y si es el caso, la existencia de peligro.

7.4.2 Aspectos Sociales y Económicos

La Cooperativa de Artesanos de La Chamba deberá favorecer la comercialización organizada de los productos elaborados por ella; permitir a sus asociados trabajar en forma solidaria y participativa y desarrollar sus aptitudes administrativas, promoviendo la búsqueda de soluciones a los problemas colectivos. Tendrá como objetivo principal el participar en convenios y proyectos de fomento y promoción de la investigación y su aplicación, la transferencia de tecnología, la comercialización, el desarrollo de valor agregado, la creación y manejo de fondos rotatorios.

El Comité Educativo Ambiental deberá realizar un programa que permita lograr lo siguiente:

- Hacer que los artesanos tomen conciencia sobre la sostenibilidad del recurso mineral y sobre el medio ambiente.
- Alentar a los artesanos a seguir el método de explotación propuesto.
- Capacitar a los artesanos para asumir responsabilidades que exija el plan de explotación.
- Otorgar reconocimiento a los artesanos por sus esfuerzos para el éxito del plan de explotación.

Todos los datos reunidos deben ser examinados regularmente por el comité para hacer recomendaciones e implementar cambios. Se debe recopilar periódicamente información de realimentación proveniente de toda la comunidad, incluyendo éxitos y fracasos del plan; esta información debe ser entregada a la Cooperativa de Artesanos de La Chamba.

Es importante que si cambian los procedimientos de la minería, deben programarse sesiones de capacitación para mantener actualizados a los artesanos. Las directivas de la Cooperativa de Artesanos y el Comité Educativo Ambiental deben mantener a los artesanos continuamente informados sobre los beneficios del plan de explotación y beneficio de arcillas, y alentarlos a presentar ideas sobre el mismo.

8 BARNIZ

Las siguientes son los análisis y resultados realizados sobre el barniz.

8.1 ANALISIS QUÍMICO

Tabla 16. Resultados del análisis químico realizado al barniz

TIPO DE ARCILLA	1:1	%	Meq	%	COMPLEJO DE CAMBIO (meq/100 g)						%	ppm
	pH	C.O.	A.I.	S.A.I.	CIC	Ca	Mg	K	Na	B.T.	S.B.	P
Barniz	4.3	0.1	4.7	49.0	13.9	2.3	1.8	0.4	0.5	4.9	35.2	0.8

meq Calcio/100g * 200 = ppm. meq Magnesio/100g * 120 = ppm.

meq Potasio/100g * 391 = ppm. meq Sodio/100g * 230 = ppm.

SAT = Saturado; B.T. = Bases Totales; S.A.I.% = Porcentaje Saturación de Acidez Intercambiable; S.B.% = Porcentaje Saturación de Bases.

MÉTODOS: Acidez intercambiable (A.I.): con KCl; Carbón orgánico (C.O.): Walkley-Black; Fósforo (P) disponible: Bray II; Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio): acetato de amonio normal y neutro.

8.1.1 pH

El barniz, con un pH de 4.3, se clasifica como extremadamente ácido, indicando una apreciable cantidad de H⁺ y Al⁺⁺⁺ intercambiable, que debe provenir de ácidos libres originados por oxidación.

8.1.2 Materia Orgánica

El contenido de materia orgánica es muy bajo en el barniz. Esto se debe a que su material parental, y por lo tanto el suelo en el cual se desarrolló este material arcilloso, posee condiciones físicas, químicas y biológicas bastante agrestes.

8.1.3 Acidez Intercambiable

El valor de la acidez intercambiable solo se calculó en el barniz, por ser este un material extremadamente ácido.

La acidez intercambiable es causada casi completamente por iones aluminio, aunque también están presentes los iones hidrógeno. El valor indica una moderada a alta meteorización del material parental.

El porcentaje de aluminio intercambiable resulta en niveles que son nocivos en la solución del suelo y dificultan el desarrollo de vegetación en la zona de extracción de esta arcilla.

8.1.4 CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) y Porcentaje de Saturación de Bases

Según las consideraciones de ORTEGA (1994), el barniz presenta una moderada CIC, un porcentaje de saturación de bases también moderado y un pH ácido. Lo anterior confirma el contenido de grandes cantidades de aluminio intercambiable, también indica que los suelos en los cuales se desarrolló presentan un grado de lavado e intemperismo alto.

El cociente Ca/Mg es aproximadamente de 1/1 para esta arcilla. El valor de CIC de potasio es alto.

Ya se han determinado las amplitudes de CIC para diferentes minerales arcillosos (en meq/100 g de material edáfico):

Caolinita	3 – 15
Esmectita	80 – 150
Illita	10 – 40
Vermiculita	100 – 150
Clorita	10 – 40

Observando que en el barniz el valor de CIC se encuentra en 13.9 meq/100 g, se espera que esta arcilla contenga altas cantidades de caolinita y bajas cantidades de illitas y ausencia de montmorillonitas y vermiculitas. Además, por presentar valores mayores pero cercanos a 10 meq/100 g de CIC, este material arcilloso se asocia a suelos moderadamente meteorizados con presencia de minerales arcillosos secundarios de baja CIC.

8.1.5 Fósforo

El fósforo disponible es escaso. El barniz presenta niveles muy bajos de fósforo.

8.2 ANALISIS DE ELEMENTOS (% en masa)

Tabla 17. Resultado del análisis de elementos como óxidos (% en masa)

TIPO DE ARCILLA	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Barniz	69.4	0.2	5.4	14.4	0.6	0.1	0.9

El alto contenido de SiO₂ indica un alto contenido de cuarzo. Las bajas cantidades de calcio, magnesio, sodio y potasio, y altas de aluminio, indican que el mineral arcilloso predominante es la caolinita.

8.3 COMPORTAMIENTO TERMICO

Tabla 18. Resultados del análisis de plasticidad y comportamiento térmico de las arcillas (% en masa)

DETERMINACION	Barniz
Humedad a 105°C	1.9
Pérdidas por Calcinación (105 – 1000°C)	5.3
Agua de Moldeo, %	34.4
Contracción de 20 a 105°C	8.8
Contracción de 105 a 1000°C	9.2
Color de Quema	Rojizo

Los bajos niveles de humedad y pérdidas de calcinación pueden indicar baja presencia de minerales arcillosos expandibles

8.4 ANALISIS DE SALES SOLUBLES

En la siguiente tabla están consignados los resultados del análisis de salinidad realizado al barniz:

Tabla 19. Resultados del análisis de sales solubles de las arcillas

TIPO DE ARCILLA	CLASE	RAS	PSI	CATIONES meq/L					
				Ca	Mg	K	Na	SUMA	
Barniz	N	4.0	3.3	0.6	0.3	0.2	2.6	3.7	
Pa	Ce	ANIONES meq/L						meq/100g	
		Sulfatos	Cloruros	Carbonatos	Bicarbonatos	SUMA	CIC	Na	
92.8	0.4	0.6	0.9	0.0	0.6	2.0	13.9	0.5	

Pa: Porcentaje saturación de agua; Ce: Conductividad eléctrica, milimhos/cm (dS/m); CIC: Capacidad intercambio catiónico; RAS: Relación adsorción de sodio; PSI: Porcentaje saturación de sodio. N: Normal.

Según los resultados de los análisis, esta arcilla es normal en cuanto a la salinidad; presentan bajos niveles de sales solubles y de sodio.

8.5 GRANULOMETRIA

La textura del barniz se determinó por medio los métodos de Bouyoucos y Pipetas:

Tabla 20. Resultados del análisis de granulometría del barniz

TIPO DE ARCILLA	MÉTODO	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL
		ARENA%	LIMO%	ARCILLA%	
Barniz	Bouyoucos	8	40	52	Ar
	Pipetas	6.5	44.7	48.9	Ar. L

F: Franco. Ar: Arcilloso. A: Arenoso. L: Limoso.

Se observa que el barniz tiene altos cantidades de arcilla.

8.6 ANALISIS MINERALÓGICO

El análisis de la fracción arena se realizó mediante identificación en el microscopio óptico; el análisis de la fracción arcilla se realizó mediante la interpretación de los difractogramas obtenidos mediante la difracción de Rayos X.

8.6.1 Fracción Arena

El análisis mineralógico de la fracción arena pone en evidencia que el conjunto de minerales abarca un número relativamente grande de especies.

Tabla 21. Resultados del análisis mineralógico de la fracción arena (%)

MINERAL	Barniz
Cuarzo	67
Fragmentos Líticos	15
Oxidos	12
Plagioclasas	3
Mica Biotita	2
Hornblenda	tr
Mica Muscovita	tr
Magnetita	tr
Circón	tr
Fitolitos de Opalo	tr

Un hecho sobresaliente que se desprende del análisis mineralógico de la fracción arena es que el barniz presenta bajos contenidos de minerales de fácil descomposición por intemperismo químico como feldspatos, hornblenda, biotita y piroxenos, ya que en conjunto alcanzan solamente un 5%.

El mineral más importante es el cuarzo, que aparece en gran cantidad. Este mineral es muy estable a los procesos intempéricos químicos.

Las plagioclasas presentan muy bajos porcentajes, lo cual puede indicar que estos minerales existieron y fueron alterados para formar minerales arcillosos de tipo caolinita. El feldespato potásico está ausente.

Los anfíboles (hornblenda) y la biotita también presentan muy bajos porcentajes; su presencia está ligada con los materiales parentales. Sobresale el hecho que la biotita se encuentre vermiculitizada e isotropizada.

Los óxidos, principalmente de hierro (hematita-goetita y magnetita) se encuentran en altas cantidades.

Los fragmentos líticos en el barniz son cuarzosos-cuarzolimosos, también hay chert. Estos fragmentos líticos provienen de la Cordillera Oriental.

En conclusión, el barniz posee gran cantidad de cuarzo y fragmentos líticos compuestos de cuarzo, mineral muy estable frente al intemperismo, y bajas cantidades de feldespatos y anfíboles. Por lo tanto, este material es bastante evolucionado y más viejo que los barro liso y arenoso.

La ausencia de feldespato potásico, vidrio volcánico y piroxenos, demuestran que su material parental, y por ende su origen, son distintos a los del barro liso y arenoso.

La alta cantidad de óxidos de hierro indica un mayor grado de alteración e intemperismo en los suelos donde se extrae; por cierto, son estos óxidos los que le dan el color rojizo al barniz, con ayuda de una muy baja presencia de materia orgánica.

8.6.2 Fracción Arcilla

Tabla 22. Análisis mineralógico de la fracción arcilla por medio de difracción de Rayos X (% semicuantitativo).

MINERAL	Barniz
Caolinita	++++
Cuarzo	++
Illitas	tr
Plagioclasas	tr

CONVENCIONES: ++++ Dominante (>50%) +++ Abundante (30-50%)
 ++ Común (15-30%) + Presente (5-15%) tr Trazas (<5%)

La caolinita presenta un pico diagnóstico fuerte y claro a 7.2 Å cuando está saturada con Mg⁺⁺, solvatada con glicerol y saturada con K⁺. El pico de segundo orden se encuentra entre 3.6 Å, siendo también fuerte y claro. Cuando se calienta a 550°C desaparecen los picos, pues la caolinita pierde su cristalinidad. Esta manifestación en el difractograma indica que la caolinita esta bien cristalizada y que es abundante.

El pico representativo de la illita se produce a 10 Å al saturar con Mg⁺⁺ y solvatar, y aumenta su intensidad al saturar con K⁺ y calentar a 550°C, diferenciándose así de la vermiculita. El pico de segundo orden está a 5 Å. Su baja intensidad indica que son illitas abiertas o degradadas. El abombamiento hacia la izquierda de este pico señala que algunas de estas illitas tienen comportamiento vermiculítico.

Las plagioclasas se identifican por los picos a 3.6 y 3.3 Å y el abombamiento hacia la derecha de este último pico. Sin embargo, su presencia es muy baja.

Los picos a 3.33 y 4.26 Å al saturar con Mg⁺⁺ y solvatar con glicerol, y que se mantienen al saturar con K⁺ y calentar a 550°C, son diagnósticos de la presencia de cuarzo.

En conclusión, el barniz en su fracción arcillosa está conformado por caolinita bien cristalizada, y en menor proporción está el cuarzo.

La dominancia de la caolinita y la inexistencia de minerales arcillosos integrados o interestratificados sugieren un alto grado de evolución de los suelos donde se origina esta arcilla, es decir, son bastante más antiguas que las arcillas que componen el barro liso y arenoso, ya que la edad del material parental de los barro liso y arenoso es de 3,400 años, mientras que la edad para el material parental del barniz es entre 11 y 16 millones de años. De esta manera se comprueba que la tendencia a través del tiempo de los minerales fácilmente alterables y los minerales arcillosos es a formar caolinita, luego de sufrir procesos de pérdida completa de bases y parcial de sílice, además de reducción de pH. Por lo tanto, el barniz es un material extremadamente difícil de alterar.

8.7 CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA TOTAL

Tabla 23. Porcentaje aproximado del contenido de minerales, relacionando los análisis de granulometría y de identificación mineralógica.

BARNIZ	
MINERAL	%
Caolinita	67
Cuarzo	28
Illitas	2
Fragmentos líticos	1
Óxidos	1
Plagioclasa	1
Biotita	tr
Hornblenda	tr
Moscovita	tr
Magnetita	tr
Fitolitos de Opalo	tr
Circón	tr

8.8 RESERVAS

Para la arcilla denominada barniz o barro rojo no se realizaron labores con el propósito de calcular sus reservas *in situ*. Sin embargo, se puede mencionar que estas arcillas se han formado de manera similar a las arcillas de La Chamba, presentando diferencias marcadas en el material parental y tiempo de evolución.

En la vereda Batatas, observando la extensión y dimensión de los montículos donde se extrae el barniz, se infiere que las reservas son grandes.

8.10 ITMO DE EXPLOTACIÓN

El ritmo de explotación en la vereda de La Chamba se calculó por medio de encuestas realizadas a los artesanos.

En La Chamba existen 60 talleres de los cuales 5 son grandes y 55 pequeños; un taller grande requiere 38 kg de barniz al mes, mientras uno grande necesita 74 kg al mes. Esto quiere decir que los 5 talleres grandes usan 370 kg de barniz mensualmente, y los 55 talleres pequeños usan 1,925 kg mensuales.

Según los datos anteriores se tiene que el ritmo de explotación de barniz en la vereda es de **2.30 tn/mes**, es decir, **27.54 tn/año**.

8.11 VIDA

Al no conocer las reservas del material, no es posible calcular la vida del mismo; sin embargo, al darnos cuenta que el ritmo de explotación del barniz es relativamente bajo, la vida del mismo puede alcanzar varias decenas de años.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El material parental del suelo en la zona de estudio está constituido por sedimentos holocénicos de abanico aluvial conformados por arenas arcillosas con cantos de rocas andesíticas y pumíticas. Estos sedimentos fueron transportados por el río Coello desde la Cordillera Central y depositados durante el Cuaternario.
- Las arcillas utilizadas por los alfareros en esta región son producto de la alteración de los sedimentos poco consolidados presentes en el área, de procesos de iluviación, es decir, “movilización” de los elementos que forman minerales arcillosos de otras zonas del perfil del suelo, y de lixiviación de materiales transportados por las aguas superficiales, conformando una capa enriquecida de estos materiales u *horizonte argílico*.
- En La Chamba, a pesar de que se registran altas temperaturas, los suelos no muy evolucionados, debido a que las precipitaciones no son suficientes para causar una mayor alteración de los materiales minerales.
- En esta área de relieve plano las aguas lluvias se desplazan lentamente. Sin embargo, como recibe un bajo volumen de aguas lluvias y está sometida a una alta evapotranspiración, los suelos evolucionan en condiciones de buen drenaje.
- La vegetación natural característica se limita a los bosques de galería ubicados a lo largo de ríos y quebradas de la región, y a las especies arbustivas y herbáceas, ubicadas en los predios sin uso agropecuario regular. Por su adaptabilidad para la agricultura, la vegetación arbórea ha desaparecido en gran parte del área, para dar cabida a los cultivos y pastizales bajo irrigación.
- Los suelos son superficiales a moderadamente profundos, pobremente drenados, texturas finas a medias, de color gris oscuro. El horizonte superficial A, delgado y con una estructura granular débilmente desarrollada, descansa sobre un horizonte de acumulación Bt, delgado y masivo. A los 50-65 cm de profundidad aparece el horizonte C de textura arenosa.
- El mayor contenido de arcilla otorga al material mayor plasticidad, estabilidad en los procesos de secado y horneado, bajo punto de fusión y alta resistencia física y química en producto terminado.
- La mineralogía de las arenas de los barros liso y arenoso está dominada por cuarzo y feldespatos, asociados con anfíboles (hornblenda) y micas. Esta constitución correlaciona con la naturaleza del material parental y con la moderada evolución de los suelos, causada por un clima seco y un drenaje deficiente; estas condiciones determinan que los minerales de fácil descomposición no sean rápidamente afectados por la meteorización química.

- Los minerales arcillosos que componen los barros liso y arenoso son caolinita e illitas. En cantidades bajas se encuentran vermiculitas. Algunos forman complejos materia orgánica-minerales arcillosos.
- A pesar de que los barros liso y arenoso provienen de un material parental muy semejante, el barro liso presenta una mayor evolución en cuanto al proceso de enriquecimiento de minerales arcillosos. En este barro, las illitas y vermiculitas se han logrado transformar a caolinita, gracias a una pérdida de sílice; también los feldespatos presentan mayor alteración a caolinita.
- La diferenciación entre los barros liso y arenoso puede tener origen en las características de la superficie, ya que los alrededores en la mina del barro liso permanecen mucho más tiempo encharcados bajo un flujo de agua lento pero constante, debido al sistema de irrigación para cultivos introducido hace años. Esto hace que existan condiciones de lixiviación moderada, favoreciendo la formación de caolinitas e illitas, en mayor grado que en los terrenos del barro arenoso.
- Según las expresiones antes mencionadas y las características de las arcillas, éstas pueden haber empezado a acumularse hace 1,000 años. Al parecer, los suelos en la región de La Chamba tiene una edad entre 2,000 y 3,000 años.
- Las reservas probadas de barro liso en todo el lote de Artesanías de Colombia es de 8,844.9 tn, mientras que las reservas de barro arenoso en todo el lote de la Cooperativa de Artesanos es de 8,560.5 tn. Estas reservas son factibles de ser recuperadas totalmente debido a la disposición geométrica del depósito y a la escasa profundidad en que se encuentra.
- El ritmo de explotación en el lote de barro arenoso es de 59.79 tn/mes y en el lote de barro liso es de 45.63 tn/mes.
- En varios predios de la Chamba y en sectores como Tres Esquinas y El Olvido, se ha encontrado arcilla lisa y/o arenosa, así como en la vereda Chipuelo. Por lo tanto, toda la superficie de la Vereda La Chamba puede contener arcilla, principalmente en las zonas dedicadas a cultivos, con excepción de las llanuras aluviales actuales y antiguas del río Magdalena, ubicadas al oriente del centro de La Chamba. Las reservas probables son superiores a 1.5 millones de toneladas, las cuales tendrían una vida de varios miles de años.
- El impacto más severo en el proceso de minería actual afecta el suelo y consiste en la ocupación del suelo fértil por la creación de huecos y zanjas y la acumulación de residuos alrededor de éstos; también el relleno con aguas lluvias de estos huecos puede convertirse en peligro para el ganado, e incluso para las personas.
- Existe un desorden total en la explotación de arcillas, lo que va en detrimento del depósito, puesto que se desperdicia material y no se restauran los suelos.

- Se debe evaluar prontamente el plan de explotación propuesto para implementarlo y ejecutarlo lo antes posible, ya que esto evitará la extracción desordenada por parte de los artesanos.
- Las instituciones interesadas deben contratar la realización del Estudio de Impacto Ambiental de las minas de arcilla.
- El Comité Educativo Ambiental debe ser organizado y puesto en funcionamiento con reglamento y tareas específicas, con relación a la preparación y distribución de arcillas.
- El "oropel" no es más que un mineral llamado biotita (mica) en proceso de transformación a vermiculita. La biotita proviene del material parental, por lo cual no es posible su eliminación en el terreno. Su transformación actual responde a procesos pedogenéticos, en los cuales los minerales de fácil alteración se disgregan, dando lugar a la formación de minerales arcillosos.
- Una medida para contrarrestar el problema del "oropel" sería implementar un proceso de molienda de las arcillas que desintegre las micas a un tamaño tal que al ser alteradas por el calor no afecten las cerámicas. Otras alternativas son la separación de estas micas por medio de tamizaje, con mallas que separen las partículas entre 2 y 0.5 mm; también se podrían separar mediante flotación. Estos métodos deben primero ser probados experimentalmente con el fin de conocer su eficiencia en la eliminación de las micas "oropel".

10 BIBLIOGRAFÍA

AYALA, J. *et al.* (1989): *Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería*. ITGE. Madrid.

BERDUGO, C. (1993): *Evaluación Geológico-minera de los Yacimientos de Arcilla en la Vereda Gambita Viejo, Municipio de Gambita, Santander*. Fondo de desarrollo Industrial de Santander. Bucaramanga.

BUITRAGO, C. & BUENAVENTURA, J. (1975): *Ocurrencias Minerales de la Región Central del Departamento del Tolima, Parte IV: Minerales No Metálicos*. Ingeominas. Ibagué.

BURGOS, L. & RIVILLA, J. (1973): *Estudio Detallado de Suelos y Clasificación con Fines de Riego del Centro Nacional de Investigaciones Nataima. Espinal-Tolima*. Dirección Agrológica, IGAC. Bogotá.

CHAMORRO, S. & MARULANDA, J. (1989): *Resultado de la Cuantificación de Micas por Rayos X y Análisis Químico Elemental en Algunos Suelos de Colombia*. Investigaciones 1(1). Subdirección Agrícola, IGAC. Bogotá.

ESCOBAR, T. (1989): *Notas para un Curso de Explotación de Minas*. Facultad Nacional de Minas. Medellín.

HERNÁNDEZ, H. (1981): *Determinación de Reservas de Depósitos Minerales*. Bol. Geología, 15(29). UIS. Bucaramanga.

IBARRA, C. *et al* (1985): *Estudio Detallado de Suelos y Clasificación de Tierras para Riegos del Distrito del Guamo (Departamento del Tolima)*. Subdirección Agrológica, IGAC. Bogotá.

IGAC (19--): *Estudio Detallado de Suelos y Clasificación de Tierras con Fines de Riegos de la Parte Plana de los Municipios de Flandes, Espinal, Guamo, Saldaña y Sectores de Purificación*. Bogotá.

IGAC (1964): *Estudio Detallado de Suelos de un Sector de los Municipios Guamo, Espinal, Flandes*. Departamento Agrológico, IGAC. Bogotá.

IGAC (1975): *Mineralogía de Suelos. Sus Relaciones con Génesis, Fertilidad y Clasificación de Suelos*. Subdirección Agrológica, IGAC. Bogotá.

IGAC (1987): *Estudio General de Suelos de los Municipios de Ibagué, Cajamarca, Coello, Espinal, Flandes, Guamo, Róvira, San Luis y Valle de San Juan, Departamento de Tolima*. Subdirección Agrológica, IGAC. Bogotá.

INGEOMINAS (1987): *Recursos Minerales de Colombia. Tomo II Minerales Preciosos, Rocas y Minerales No Metálicos, Recursos Energéticos*. Publ. Geol. Esp. Ingeominas. Bogotá.

INGEOMINAS (1995): *Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Tolima, Escala 1:250,000*. Ingeominas. Bogotá

INGEOMINAS (2000): *Inventario Minero en el Departamento del Tolima. Información Primaria*. Ingeominas, Subdirección de Minería. Bogotá.

IRVING, E. (1971): *La Evolución Estructural de los Andes más Septentrionales de Colombia*. Bol. Geol. 19(2). Bogotá.

MALAGÓN, D. (1974): *Propiedades Físicas de los Suelos*. Dirección Agrológica, IGAC. Bogotá.

MEJÍA, L. (1983): *Pedología Descriptiva. Compendio de Normas para el Examen y Descripción de Suelos en el Campo y en el Laboratorio*. CIAF. Bogotá.

MILANI, L. (1995): *Uso y Ocupación del Suelo: La Planificación Municipal y La Minería. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental*. ORCYT, UNESCO. Montevideo.

MOTTA, B. *et al* (1990): *Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos*. Subdirección Agrológica, IGAC. Bogotá.

NARRO, E. (1994): *Física de Suelos: con enfoque agrícola*. Editorial Trillas. México.

NORTHON, F. (1979): *Cerámica Fina, Tecnología y Aplicaciones*. Editorial Omega S.A. Barcelona.

NUÑEZ, A. (1996): *Geología, Recursos Geológicos y Amenazas Geológicas. Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento del Tolima*. Ingeominas. Ibagué.

ORCHE, E. (1999): *Manual de Evaluación de Yacimientos Minerales*. E.T.S.I. Minas – U.P.M. Madrid.

ORCHE, E. (2001): *Manual de Geología y Prospección de Yacimientos Minerales*. E.T.S.I. Minas – U.P.M. Madrid.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (1967): *Suelos Arcillosos Oscuros de las Regiones Tropicales y Subtropicales*. FAO. Roma.

ORTIZ, F. (1994): *Fundamentos de Laboreo de Minas*. Escuela Superior de Ingenieros de Minas. Madrid.

RAASVELDT, H., BURGL, H. & VAN DER HAMMEN, T. (1956): *Mapa Geológico de la Plancha L9 (Girardot), Escala 1:200,000*. Servicio Geológico Nacional. Bogotá.

SANCHEZ, L. (1995): *Evaluación de Impacto Ambiental en Minería: Interacciones entre el Proyecto Técnico y los Estudios Ambientales*. Aspectos geológicos de Protección Ambiental. ORCYT, UNESCO, Montevideo.

SOETERS, R. (1976): *El Desarrollo Geomorfológico de la Región de Ibagué –Girardot*. Revista CIAF 3(1). Bogotá.

SOETERS, R. (1981): *Contribución sobre el Desarrollo de la Parte Alta del Valle del Río Magdalena en el Cuaternario*. Revista CIAF 6(1-3). Bogotá.

TOJANCI, I. (1989): *Muestreo y Evaluación de Reservas de la Mina La Chamba*. Ministerio de Minas y Energía, Sección Regional Minera de Ibagué.

WITKOWSKY, D. (1995): *Prevención de la Contaminación en Minería y Procesamiento de Minerales*. U.S. Bureau of Mines. Washington.

ZINCK, A. (1987): *Aplicación de la Geomorfología al Levantamiento de Suelos en Zonas Aluviales y Definición del Ambiente Geomorfológico con Fines de Descripción de Suelos*. Subdirección Agrológica, IGAC. Bogotá.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS**

INFORME

**GÉNESIS, CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y EVALUACIÓN MINERA
DE LOS DEPOSITOS DE ARCILLA NEGRA EN LA VEREDA ARTESANAL DE
LA CHAMBA, MUNICIPIO DEL GUAMO (TOLIMA)**

Realizado por:

SERGIO LOZADA PADILLA

BOGOTÁ D.C., FEBRERO DE 2002

GÉNESIS, CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y EVALUACIÓN MINERA DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLA NEGRA EN LA VEREDA ARTESANAL DE LA CHAMBA, MUNICIPIO DEL GUAMO (TOLIMA)

RESUMEN

En la Vereda artesanal La Chamba, municipio del Guamo, departamento de Tolima, se encuentran dos minas activas de arcilla negra que se utiliza en alfarería. Los alrededores de ésta vereda están constituidos por depósitos aluviales de morfología plana denominados como abanicos del Guamo y del Espinal, presentando contenidos de material volcánico; hacia el oriente de la zona de estudio se encuentran aluviones recientes y terrazas del río Magdalena, y en la margen oriental del río Magdalena aflora el Gr. Honda.

Esta localidad tiene fama a escala nacional por la elaboración de objetos cerámicos artesanales, cuya producción ha venido aumentando en los últimos años. Sin embargo, hay preocupación sobre un posible agotamiento de las reservas de este material, además de la existencia en la arcilla del "oropel", mineral que afecta la calidad de las cerámicas, en detrimento de su comercialización.

En el presente estudio se logró identificar que los barros se formaron por procesos pedogenéticos sobre material parental originado en los depósitos holocénicos del abanico aluvial del río Coello. La mineralogía de los barros liso y arenoso se compone principalmente por feldespatos, cuarzo y micas; los minerales arcillosos encontrados son caolinita, illitas y vermiculitas. Las reservas probadas para el barro liso son de aproximadamente 8,840 tn y su vida con el ritmo de explotación actual es de 16 años y 2 meses. Las reservas del barro arenoso alcanzan las 8,560 tn y su vida proyectada es de 11 años y 11 meses.

LOCALIZACIÓN

Las minas de arcilla negra están situadas en la Vereda La Chamba, en la parte oriental del municipio del Guamo, departamento del Tolima, plancha topográfica 264-IV-A del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, a 10 Km al E de la cabecera municipal del Guamo y a 12 Km al S del municipio de Espinal. Hacia el oriente, aproximadamente a un kilómetro, se encuentra el río Magdalena.

Marco Histórico

La extracción de arcilla en los alrededores de la vereda de La Chamba para la elaboración artesanal de objetos cerámicos, data desde los tiempos precolombinos cuando nuestros antepasados indígenas eran los únicos pobladores de estas tierras. Durante la época de la

Conquista, Colonia y República, esta actividad continuó en aumento hasta cuando los utensilios de aluminio desplazaron del mercado a los tradicionales tiestos de barro y de cobre. Durante los últimos años, por el renacimiento de las viejas costumbres y la influencia del turismo, la producción ha venido aumentando hasta lograr producir aproximadamente más de tres toneladas diarias de objetos terminados en toda la vereda artesanal de La Chamba.

GEOLOGÍA

Las unidades aflorantes en la zona de estudio de antiguo a reciente son:

Grupo Honda

Se extiende a lo largo del valle del río Magdalena, en una franja que cruza de sur a norte. Las rocas que afloran al oriente del río están constituidas por capas rojizas de grano fino. El contacto superior es discordante con terrazas y aluviones del río Magdalena. La edad de la unidad es Mioceno medio.

Abanicos del Espinal y del Guamo

Son abanicos o conos de deyección de grandes dimensiones. Su morfología es plana y están suavemente inclinados hacia el valle del Magdalena.

Algunos autores consideran estos abanicos aluviales como un solo abanico debido a que sus diferencias litológicas no son muy notorias. Predominan los depósitos constituidos por tobas y cenizas volcánicas retrabajadas, acompañados de guijos pumíticos y andesíticos. La unidad en su porción más superficial se compone de arenas finas con fragmentos rodados; éstas arenas están constituidas principalmente por cuarzo, feldespatos, anfíbol negro, micas y en ocasiones pirita. Las piedras rodadas son fragmentos de andesita, dacita y pumitas.

El origen del abanico del Espinal está relacionado con actividad eruptiva del Cerro Machín. Datos de C^{14} indican una edad de 3,400 años para el Abanico del Espinal, asignando esta unidad al Holoceno, acorde con la edad de los eventos explosivos del Cerro Machín.

Sobre el Abanico del espinal se encuentra la Vereda la Chamba y las minas de arcilla.

Aluviones y Terrazas

Extensas zonas de los valles de los ríos Magdalena y Saldaña y sus tributarios están cubiertas por depósitos sedimentarios aluviales. Los más antiguos han sido erosionados y

presentan formas aterrazadas. Generalmente son depósitos de gravas y arenas, con intercalaciones arcillosas de dimensiones variables, con poca o ninguna consolidación, y selección regular a buena. La edad de estas acumulaciones es Holoceno a Reciente; por lo tanto, unas están en proceso de formación debido a la dinámica fluvial permanente, mientras que otras se han formado en eventos extraordinarios como flujos torrenciales en épocas invernales.

GENERALIDADES SOBRE ARCILLAS

El término "arcilla" actualmente tiene muchas interpretaciones, dependiendo generalmente del interés específico del investigador; sin embargo, con base en el tamaño de las partículas que la conforman se ha llegado al consenso de que la arcilla es un material mineralógico, geológico y pedológico caracterizado por tamaño de grano menor a $2\mu\text{m}$.

Desde el punto de vista mineralógico se puede decir que la arcilla es un conjunto de filosilicatos y minerales arcillosos de menos de dos micras que exhiben las siguientes propiedades: aluminosilicatos hidratados, estructura laminar, alta plasticidad, posibilidad de expansión con agua o compuestos orgánicos, endurecimiento al calentar, concentrados en la fracción coloidal.

PEDOLOGÍA

Los suelos sobre la parte baja del abanico del Espinal se han cartografiado en la unidad Asociación Espinal, con altitudes comprendidas entre 280 - 350 msnm, con temperaturas medias aproximadas de 25-32 °C y un promedio anual de lluvias entre 1,000 y 1,500 mm. La unidad pertenece a la formación de bosque seco tropical.

El relieve es plano a ligeramente plano con pendiente 0-3%; el material parental del suelo es sedimentos holocénicos de abanico aluvial conformados por arenas arcillosas con cantos de rocas andesíticas y pumíticas.

La vegetación natural ha sido completamente destruida por lo que actualmente, por su relieve, fertilidad y la posibilidad de riego, está utilizada en cultivos de arroz y sorgo, y en menor proporción cultivos de maíz y algodón.

Los suelos son superficiales a moderadamente profundos, pobremente drenados, texturas finas a medias, de color gris oscuro. El horizonte superficial A, delgado y con una estructura granular débilmente desarrollada, descansa sobre un horizonte de acumulación Bt, delgado y masivo. A los 50-65 cm de profundidad aparece el horizonte C de textura arenosa.

Rango de características

El suelo es pobremente drenado. En la mina de arcilla lisa la textura del horizonte A varía entre franca y franco-arcillosa; el espesor del horizonte A varía entre 25 y 35 cm. El espesor del horizonte B puede variar entre 22 y 25 cm. El contenido de guijos en el horizonte C varía entre 10 y 25%, sin que exceda de este límite superior. El sustrato de material parental puede encontrarse a profundidades que varían entre 50 y 65 cm.

En la mina de arcilla arenosa el espesor del horizonte A varía entre 20 y 30 cm. El espesor del horizonte B varía entre 19 y 22 cm. El horizonte C es arenoso y presenta guijos de roca andesítica y pumítica alterados.

Distribución y Extensión

Se considera que este tipo de suelo abarca toda la región de la Vereda La Chamba, excepto su porción más oriental donde predominan las terrazas y llanuras aluviales de los ríos Magdalena. Estos suelos se presentan en la llanura del abanico aluvial distal, donde la granulometría de estos depósitos es más fina en comparación con los depósitos más proximales que se encuentran hacia el noroeste.

Litología y Granulometría

En general, el horizonte A está compuesto de minerales de tamaño arena muy fina hasta media embebidos en una matriz arcillosa; hay presencia de materia orgánica (humus) que puede formar complejos con minerales arcillosos, dando de esta manera el color oscuro característico a estos suelos. Los minerales que se pueden apreciar a simple vista son granos de cuarzo, feldespato y biotitas vermiculitizadas; éstas últimas en forma de láminas pseudo hexagonales que dan visos dorados de apariencia metálica.

En el horizonte B predomina el material arcilloso mezclado con materia orgánica, sin embargo, también se detecta cuarzo y feldespatos en granos de tamaño arena muy fina. Las micas siguen presentes mostrando forma pseudo hexagonal en cristales de hasta 2 mm de largo.

El horizonte C está compuesto principalmente por arena fina a gruesa con esporádicos gránulos de cuarzo, feldespato, micas y minerales oscuros; la presencia de matriz arcillosa disminuye hacia la base. En este horizonte se observan guijos de roca andesítica que pueden alcanzar los 10 cm de diámetro; estos guijos al alterarse se tornan friables, formando moteos de color gris claro.

Otras Observaciones

En el desarrollo de la formación del horizonte argílico en estos suelos, la actividad agrológica ha jugado un papel preponderante debido posiblemente a que las aguas superficiales de irrigación estimulan los procesos de lixiviación. En algunos sectores en donde la actividad agrícola ha sido intensa, el espesor de la capa de arcilla es mayor, mientras que la granulometría del depósito es más fina. En cortes de caminos se ha observado que en algunas zonas donde no se cultiva, no está presente el horizonte enriquecido en minerales arcillosos.

ANÁLISIS MINERALÓGICO

El análisis de la fracción arena se realizó mediante identificación en el microscopio óptico; el análisis de la fracción arcilla se realizó mediante la interpretación de los difractogramas obtenidos mediante la difracción de Rayos X.

Un hecho sobresaliente que se desprende del análisis mineralógico de la fracción arena es que los barros liso y arenoso presentan minerales de fácil descomposición por intemperismo químico como feldespatos, hornblenda, biotita y piroxenos, que en conjunto alcanzan cifras cercanas al 50%. Estos minerales, al ser alterados paulatinamente ceden estructuras básicas para la formación de arcillas. Se puede aseverar que éstos barros provienen del mismo material parental.

Por lo anterior, este material no ha evolucionado completamente, pues posee minerales alterables químicamente. Esto quiere decir que la formación de estos barros no es muy antigua, ya que los procesos de intemperismo han actuado moderadamente.

La mineralogía de las arenas de los barros liso y arenoso está dominada por cuarzo y feldespatos, asociados con anfíboles (hornblenda) y micas. Esta constitución correlaciona con la naturaleza del material parental (depósitos de abanico aluvial reciente) y con la moderada evolución de los suelos, causada por un clima seco y un drenaje deficiente.

La fracción arcilla del barro revela los procesos de síntesis pedológica de suelos, aunque puede heredar su composición, en parte, del material parental. Los minerales arcillosos poseen unas propiedades químicas y físicas especiales que los hacen necesarios en el contenido de los barros para ser utilizados en cerámica y alfarería.

A pesar de que los barros liso y arenoso provienen de un material parental muy semejante, el barro liso presenta una mayor evolución en cuanto al proceso de enriquecimiento de minerales arcillosos. En este barro las illitas y vermiculitas se han logrado transformar a caolinita, gracias a una pérdida de sílice; también los feldespatos presentan mayor alteración a caolinita.

Esta diferenciación entre los barros liso y arenoso puede tener origen en las características de la superficie, puesto que los terrenos y alrededores en la mina del barro liso permanecen mucho más tiempo encharcados bajo un flujo de agua lento pero constante, debido quizás al sistema de irrigación de cultivos introducido hace muchos años. Esto hace que existan condiciones de lixiviación moderada que favorece la formación de caolinitas e illitas, en mayor grado que en los terrenos del barro arenoso.

Los minerales arcillosos que componen los barros liso y arenoso son la caolinita, illitas y vermiculitas. En cantidades bajas se encuentran el cuarzo, feldespatos, cristobalita, interestratificados e integrados 2:1-2:2.

Porcentaje aproximado del contenido de minerales en las arcillas, relacionando los análisis de granulometría y de identificación mineralógica de las fracciones arena y arcilla

BARRO LISO		BARRO ARENOSO	
Mineral	%	Mineral	%
Caolinita	20	Plagioclasa	15
Plagioclasa	16	Cuarzo	15
Cuarzo	11	Caolinita	9
Feldespato potásico	10	Biotita	9
Illitas	10	Illito-vermiculitas	8
Cristobalita	8	Vermiculitas	7
Illito-vermiculitas	6	Illitas	7
Fragmentos líticos	4	Fragmentos líticos	6
Hornblenda	4	Integrados	6
Vermiculitas	4	Feldespato potásico	5
Biotita	3	Hornblenda	4
Vidrio volcánico	2	Oxidos	2
Moscovita	1	Interestratificados	2
Óxidos	1	Moscovita	2
otros	1	Vidrio volcánico	2
		Cristobalita	1
		otros	1

GÉNESIS DE LOS SUELOS

Estos suelos se han clasificado como medianos (presentan una proporción relativamente equilibrada de arena, limo y arcilla) con un horizonte arcillosos. Poseen menor permeabilidad que los suelos adyacentes ubicados hacia el occidente, los cuales son más arenosos. Tienen buenas condiciones de retención de humedad y químicas como alto contenido de calcio y magnesio (para cultivos). El color es pardo grisáceo a gris en el suelo propiamente, y pardo amarillento a pardo oliva en el subsuelo.

GÉNESIS DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLA

Los factores más importantes en la génesis de estas arcillas son en su orden: material parental, tiempo y clima. Se han formado en suelos desarrollados a partir de abanicos antiguos ricos en minerales intemperizables y están sujetos a una evapotranspiración que sobrepasa la precipitación.

Material Parental

El material parental está formado por depósitos recientes de arenas arcillosas retrabajadas, presentando contenido abundante de plagioclasa y presencia de minerales alterados, cuarzo, biotita, hornblenda, piroxenos y vidrio volcánico.

Clima

La síntesis de arcilla ocurre en medios provistos de Ca y Mg, con un clima cálido y suficientemente húmedo para permitir la meteorización, aunque existan períodos secos. El clima presenta altas temperaturas medias y estaciones secas marcadas; las fuertes lluvias de la estación húmeda se empozan por largo tiempo en estos suelos. En estas áreas de relieve plano las aguas lluvias se desplazan lentamente. Sin embargo, en condición de recibir un bajo volumen de aguas lluvias y de estar sometidas a una alta evapotranspiración, los suelos evolucionan en condiciones de buen drenaje.

Tiempo de Evolución

El tiempo durante el cual los procesos intempéricos han actuado sobre los materiales parentales, es factor de diferenciación en la evolución de los suelos. Los depósitos sedimentarios del Holoceno tienen altos porcentajes de minerales fácilmente intemperizables y originan suelos con un grado de desarrollo bajo. Sin embargo, debido a los factores climáticos, los suelos presentan una mayor evolución.

PROCESOS PEDOGENÉTICOS PARA ENRIQUECIMIENTO DE ARCILLAS

Translocaciones

Las partículas en suspensión se asocian en su dinámica al transporte mecánico. Las condiciones del medio son importantes, de tal manera que, por ejemplo, el inicio de la decarbonatación permite la movilidad de las arcillas finas y a medida que esta continúa (medios en la cercanía de la neutralidad) el calcio y el hierro constituyen agregados arcillo-húmicos.

La influencia del medio sobre la naturaleza de los horizontes iluviales se ejemplariza bajo condiciones de un medio moderadamente ácido, en los cuales se puede generar horizontes argílicos (Bt), mediante la migración mecánica y la iluviación arcillosa en grado significativo.

Es posible que la ganancia de arcilla del horizonte B corresponda a pérdida del horizonte A; en esta forma de translocación las arcillas no sufren ninguna alteración química.

Lixiviación

La lixiviación se ve afectada por la solubilidad de los compuestos, condiciones de desaturación y decarbonatación.

La lixiviación de carbonatos de calcio y el proceso de marronización son requisito previo para el desarrollo del horizonte argílico. La migración de minerales arcillosos ocurre en un medio saturado, tan pronto como sobreviene la pérdida de carbonato de calcio libre.

Transformación y Neoformación de Minerales

En el medio ambiente del suelo se pueden formar los llamados "minerales secundarios"; los más importantes son los minerales de la arcilla.

La meteorización química separa los minerales en sus partes. Los minerales de la arcilla están formados por una recombinación de los componentes químicos que llegan a la humedad del suelo después de la meteorización química. Dependiendo de las disponibilidades de los diferentes tipos de compuestos químicos, se pueden formar diferentes tipos de minerales de la arcilla. El transporte del material erosionado y los procesos de lixiviación, translocación y la redistribución de los componentes químicos móviles, determinan qué material está disponible para la formación de minerales secundarios.

Algunas características del horizonte enriquecido en arcilla

Edad del Material Parental	3,400 años
pH en agua 1:1	6.3 - 6.5
% Saturación de Bases	93 - 100
CIC (meq/100 g)	11 - 18
Carbonatos (meq/L)	0
% Materia Orgánica	0.5 - 0.6
% Limo + Arcilla	45 - 70
% Minerales de Fácil Alteración	34

Estos suelos presentan una intensidad de translocación arcillosa moderada, un grado de transformación mineral bajo a mediano y un grado de lixiviación moderado.

Teniendo en cuenta las características de las arcillas consignadas en la Tabla, además de la alta saturación de bases, presencia de un horizonte A oscuro y un horizonte B con acumulación moderada de arcilla entre los 30-40 cm de profundidad, se puede inferir que el suelo presenta un moderado grado de evolución.

El horizonte A tiene un período de formación de 100-1,000 años, el proceso de decarbonatación requiere una duración de 200-300 años y el horizonte B enriquecido en arcilla tiene un tiempo de formación de 1,000-10,000 años.

Según las expresiones antes mencionadas y las características de las arcillas, éstas pueden haber empezado a acumularse hace 1,000 años. Al parecer, los suelos en la región de La Chamba tiene una edad entre 2,000 y 3,000 años.

EVALUACIÓN MINERA DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLA EN LA VEREDA ARTESANAL DE LA CHAMBA

MÉTODO ACTUAL DE EXPLOTACIÓN

La explotación de arcilla para las actividades alfareras se realiza a cielo abierto en numerosos sitios, dejando tras de sí huecos y zanjas distribuidos en forma anárquica por todo el sector, los cuales no se vuelven a tapar originando zonas pantanosas en épocas de invierno. La profundidad promedio de estos huecos es de 50 cm.

El material es arrancado manualmente con ayuda de barretones y palas. Se carga en costales que son transportados a lomo de mula hasta cada vivienda.

En los últimos años se ha intensificado la presencia del "oropel" en la arcilla, el cual no es más que pequeñas hojuelas de micas (biotitas vermiculitizadas). Si las micas alcanzan un tamaño mayor a 0.5 mm, y no son eliminadas de las arcillas antes de mezclarlas y formar la pasta para el moldeo, éstas pueden presentar problemas en el momento de la cocción de las cerámicas, ya que éstas micas tienden a contraerse con el calor y revientan la capa de barniz que recubre las piezas; estos defectos le restan belleza a las cerámicas, disminuyendo su calidad, y por tanto, su comercialización.

PLAN DE EXPLOTACIÓN PROPUESTO

Exploración y geología del depósito.

Como ya se ha mencionado en este documento, el depósito de arcillas en la Vereda La Chamba es formado por varios procesos: la alteración de sedimentos poco consolidados en la parte distal del abanico aluvial del río Coello, llamado actualmente Abanico del Espinal, formado aproximadamente hace 3,400 años; la lixiviación de materiales transportados por las aguas superficiales y traslocación de minerales arcillosos de otros horizontes del suelo. De esta manera, se crea un horizonte enriquecido en minerales arcillosos en forma de capa de 15 a 30 cm de espesor, con sus límites superior gradual y ondulado, e inferior claro y quebrado.

Reservas probadas (o seguras)

Los contornos de las reservas se conocen de un modo coherente, o la configuración de las mismas está asegurada por una serie de labores muy juntas.

El cálculo de las reservas probadas no es más que un problema volumétrico. En un yacimiento de forma plana y de potencia variable, se multiplica su superficie por la media aritmética de los espesores.

Se aclara que en los dos lotes hay zonas adyacentes a quebradas, vaguadas o zanjas que están cubiertas por bosque de galería, las cuales no son aptas para la explotación de la arcilla. Estas zonas no fueron tenidas en cuenta en el cálculo de las reservas del material arcilloso.

Barro Liso:

La arcilla denominada "barro liso" se extrae en una porción del lote de propiedad de Artesanías de Colombia.

Area total del lote = **42,600 m²**
Area de las zonas con bosque de galería y/o zona no explotable = **9,650 m²**
Area de la zona actualmente explotable = **9,760 m²**
Area de la zona actualmente dedicada a cultivos = **23,190 m²**
Espesor promedio = **0.23 m**

Se asume que el 50% del área actualmente explotable está recientemente explotado.

Area por explotar de la zona actualmente explotable = **4,880 m²**
Area por explotar de la zona explotable de todo el lote = **28,070 m²**

Volumen del depósito de barro liso en la zona actualmente explotable = **1,122.4 m³**.
Volumen del depósito de barro liso en la zona dedicada a cultivos = **5,333.7 m³**
Volumen del depósito de barro liso en todo el lote = **6,456.1 m³**

La densidad obtenida para el barro liso recién extraído (terrones) es de **1.37 g/cm³**;

Reservas de barro liso en la zona actualmente explotable = **1,537.7 tn**
Reservas de barro liso en la zona actualmente dedicada a cultivos = **7,307.2 tn**
Reservas de barro liso en todo el lote = **8,844.9 tn**

Barro Arenoso:

La arcilla denominada "barro arenoso" se extrae del lote de propiedad de la comunidad artesanal.

Area total del lote = **48,700 m²**
Area de las zonas con bosque de galería y/o zona no explotable = **4,800 m²**
Area explotable = **43,900 m²**
Espesor promedio = **0.20 m**

Se asume que el 35% del lote se encuentra recientemente explotado.

Area por explotar = $43900 \text{ m}^2 - 15,365 \text{ m}^2$ (35%) = **28,535 m²**
Volumen del depósito de barro arenoso en todo el lote = **5,707 m³**.

La densidad obtenida para el barro arenoso recién extraído (terrones) es de **1.5 g/cm³**

Reservas de barro arenoso en todo el lote = **8,560.5 tn**

Estas reservas son factibles de ser recuperadas totalmente debido a la disposición geométrica del depósito y a la escasa profundidad en que se encuentra.

Reservas probables (o indicadas)

Las reservas se reconocen por medio de labores muy separadas.

Según datos entregados por los artesanos, en años anteriores se ha extraído arcilla de otros lugares distintos a las minas actuales; incluso, se ha extraído barro "mixto", es decir, su textura permite ser usada directamente para elaborar la pasta de moldeo, sin necesidad de mezclarse con otra arcilla.

En sectores como Tres Esquinas y El Olvido, al norte y al oriente de La Chamba, respectivamente, se encuentra barro mixto, así como en predios de Carmen Torrijos; en predios de Beatriz Garcés y cerca de la antigua escuela de cerámica se encuentra barro arenoso, mientras que en predios de Mercedes Prada se ha extraído barro liso. En veredas adyacentes a La Chamba como Chipuelo se extrae barro mixto en grandes cantidades.

Todas estas manifestaciones presentan las mismas características que en las minas actuales, tales como espesor entre 15-30 cm, bajo la capa vegetal de 20-40 cm, y sobre "peñón" o arenas arcillosas poco consolidadas con cantos de andesitas y/o pumitas.

Debido a las anteriores evidencias, toda la superficie de La Chamba, exceptuando las llanuras aluviales actuales y antiguas del río Magdalena, pueden contener arcilla.

Se han calculado unas reservas probables superiores a **1.5 millones de toneladas** en la vereda La Chamba.

Reservas posibles (o pronosticadas).

Pueden deducirse del conocimiento de las posibilidades y analogías geológicas.

Debido a los datos mencionados anteriormente y al conocimiento de extracción de una arcilla muy plástica (lisa) en la mina La Conejera, vereda El Colegio, municipio de Flandes, con características muy semejantes a las arcillas de La Chamba, se puede inferir que el área de la parte más distal del antiguo abanico aluvial del río Coello, en cercanías al río Magdalena, pero sin incluir los aluviones recientes de éste río, pueden presentar el horizonte arcillosos, ya que tanto el material parental, el clima y el tiempo de evolución son, por no decir que los mismos, bastante similares.

Las reservas posibles son bastante grandes (podrían alcanzar los 30 millones de toneladas), pero están esparcidas en un área también muy grande, lo que no hace viable su explotación masiva.

Vida y ritmo de explotación.

El ritmo de explotación, es decir, las toneladas métricas de material arcilloso producidas por año, influye determinadamente en el estudio de viabilidad de la mina. Este ritmo vendrá marcado fundamentalmente por el mercado de las cerámicas, que señalará la producción anual factible del material.

El concepto de vida de la explotación será el resultado de dividir las reservas probadas por el ritmo.

El ritmo de explotación actual se calculó con base en la información suministrada por los artesanos de La Chamba.

En esta vereda existen **60 talleres** que elaboran cerámicas con arcilla extraída de los lotes en estudio. De estos talleres, 5 son grandes y 55 son pequeños.

La cantidad de arcilla extraída por un taller grande es en promedio de 1.73 tn/mes para el barro arenoso y de 1.29 tn/mes para el barro liso. La cantidad de arcilla extraída por un taller pequeño es en promedio de 0.93 tn/mes para el barro arenoso y de 0.71 tn/mes para el barro liso.

En conclusión, el ritmo de explotación en el lote de barro arenoso es de 59.79 tn/mes y en el lote de barro liso es de 45.63 tn/mes.

Según este ritmo de explotación actual, se logra calcular el tiempo de duración de estas reservas:

Barro Liso:

Reservas de la zona actualmente explotable =	1,537.7 tn
Reservas de la zona dedicada actualmente a cultivos =	7,307.2 tn
Reservas de la zona explotable de todo el lote =	8,844.9 tn
Ritmo de explotación =	547.56 tn/año
Duración de las reservas de la zona actualmente explotable =	2 años y 10 meses
Duración de las reservas de la zona dedicada a cultivos =	13 años y 4 meses
Duración de las reservas de la zona explotable de todo el lote =	16 años y 2 meses.

Barro Arenoso:

Reservas de la zona explotable de todo el lote =	8,560.5 tn
Ritmo de explotación =	717.42 tn/año
Duración de las reservas de la zona explotable de todo el lote =	11 años y 11 meses.

Estos depósitos no son factibles de sufrir renovación, a pesar de lo mencionado por algunos artesanos, debido a que el proceso de transformación y/o neoformación de minerales arcillosos y su posterior acumulación en un horizonte enriquecido notablemente por estos minerales requiere, según varios autores, más de 100 años.

Es posible que en las épocas de invierno el material arcilloso se sature de agua y adquiera propiedades coloidales, con lo cual puede fluir hacia sectores donde la arcilla ya ha sido extraída; sin embargo, en ningún momento se está generando nuevo material arcilloso.

Métodos posibles de explotación.

De acuerdo a los antecedentes es necesario implementar un método de explotación más adecuado, que sea semimecanizado (con uso del bulldozer o pala mecánica) y que conserve orden en los frentes de extracción. El método más adecuado para implementarse es el de transferencia, es decir, luego de efectuar la excavación del primer bloque o hueco inicial, la capa vegetal de los siguientes es vertido en el propio hueco de las fases anteriores.

Diseño previo de la geometría de zanjas, frentes de explotación y accesos.

El método de explotación a implementar en la mina de barro liso deberá realizarse por franjas y llevará orden en los frentes de explotación.

El primer sector a explotar debe ser el que abarca las áreas recientemente explotadas. La distribución de los frentes de explotación puede iniciarse sobre el límite occidental del lote, empezando la extracción en el norte y continuándola hacia el sur. Una vez se llegue al límite sur de la zona en explotación, se reinicia el proceso con otra franja al oriente de la anterior, y así sucesivamente.

Para llevar un mejor control en el terreno, las franjas deben tener un ancho establecido, el cual puede ser de 10 metros. Este método propuesto es factible de implementarse en la mina de barro arenoso, con la diferencia de que el lote que contiene este barro tiene una forma más irregular, por lo tanto es necesario tener sumo cuidado al realizar las mediciones y demarcaciones de las franjas de explotación.

Optimización de la explotación.

Para lograr un alto nivel de eficiencia en la explotación de arcillas, se implemente o no el método propuesto al eslabón de minería de la minicadena productiva en La Chamba, es necesario que no se permita la extracción de manera desordenada y sin control por parte de la comunidad. Además, el artesano ceramista emplea una parte importante de su tiempo y esfuerzo en la extracción y preparación de las arcillas. El ingenio y la habilidad del artesano son desaprovechados durante la consecución de la materia prima. Por lo tanto, se recomienda que el Comité Educativo Ambiental y la Cooperativa conformen un grupo de personas para que se dedique a extraer la arcilla en fechas a establecer.

En el caso que se adopte el método propuesto, la extracción debe ser mensual (sin embargo, este período dependerá de la disponibilidad de la maquinaria), llevando un control para cada bloque explotado donde se registren los siguientes datos: fecha de explotación, área y ubicación del bloque, volumen y/o peso del material extraído, costo de la extracción (alquiler del bulldozer o la pala mecánica, jornales de obreros, etc.) y

observaciones, tales como consistencia del material, porcentaje aproximado de oropel, y las que se consideren pertinentes. Este registro será realizado por un supervisor encargado adscrito al Comité Educativo Ambiental.

Operación Minera

Preparaciones.

Antes de extraer el material arcilloso se debe retirar la capa vegetal, la cual tiene un espesor promedio de 30 cm en la mina de barro liso. Para ello es necesario utilizar un bulldozer o una pala mecánica, que empuje esta capa y la apile en el extremo sur de la zona en explotación, donde se conservará para el posterior relleno del bloque explotado. La otra posibilidad es que la capa vegetal se disponga en el bloque explotado en la fase anterior.

Arranque.

La arcilla se arrancará manualmente, con ayuda de picas, barretones y palas, ya que debido al espesor irregular del horizonte arcilloso y a su composición algo heterogénea requiere selección para su extracción. Se tendrá especial cuidado en no mezclar la arcilla con las arenas subyacentes o "peñón", pues la adición de este material podría modificar sustancialmente las propiedades físico-químicas de la arcilla.

Carga y transporte.

Al momento de la extracción del material, los obreros encargados depositarán la arcilla en una volqueta. Una vez cargada completamente, se transportará la arcilla a un punto de almacenamiento a definir, el cual estará adyacente al lugar de beneficio y preparación de arcillas. El alquiler de la volqueta es recomendable debido a su gran capacidad de carga y maniobrabilidad al momento de descargar el material, pero en su defecto, se podrá utilizar una buena camioneta de platón grande. Se harán los viajes que sean necesarios desde la mina al punto de almacenamiento.

Servicios para la mina.

Una vez explotado un bloque, se restaura mediante relleno (con el bulldozer o la pala mecánica) con la capa vegetal acumulada en la parte sur de la zona en explotación, o con la capa vegetal del próximo bloque a explotar. Estos bloques rellenos pueden ararse y destinarse para cultivos.

Beneficio de Arcillas

El punto de almacenamiento deberá estar cubierto para proteger la arcilla de la contaminación y la lluvia. Se delimitarán dos espacios separados el uno del otro donde se depositarán los barros liso y arenoso. Una vez sea extraída toda la arcilla de un tipo, por ejemplo, el barro liso, se hará una trituración inicial y se mezclará para homogeneizar el material. Luego se utilizará una zaranda para retirar raíces, guijarros y otros elementos indeseables. Posteriormente se pasa al secado de la arcilla, el cual será bajo techo por medio de tejas de plástico que permitan el paso de la luz y el calor del sol.

Luego se pasa al proceso de molido de la arcilla, según métodos establecidos por los ingenieros. Para eliminar la mica (oropel) se debe moler la arcilla y retirar las partículas con un tamaño entre 2 mm y 0.5 mm por medio de mallas, ya que las micas que se encuentran en estos tamaños son las que pueden llegar a afectar las cerámicas en el proceso de horneado. Sin embargo, otro método que podría funcionar para retirar este mineral es el de flotación.

Estos métodos no se han experimentado, por lo que deben realizarse pruebas para valorar su eficiencia en la eliminación del "oropel".

Precio de venta del mineral.

Una vez se definan los procesos específicos para el beneficio y preparación de arcillas y se llegue a un material con la calidad esperada, se deberá calcular un valor agregado con el cual se distribuirá la arcilla a los artesanos.

El cálculo de este valor deberá tener en cuenta los costos de operación, tales como alquiler de maquinaria, combustible, energía eléctrica, agua, sueldos de obreros, etc., y la cantidad de arcilla entregada a cada artesano.

En caso de que no sea viable el alquiler del bulldozer o de una pala mecánica, se deberá trabajar manualmente el proceso de preparación del terreno para la extracción de la arcilla. Los inconvenientes del trabajo manual son principalmente un mayor tiempo dedicado a las labores y la necesidad de contratar un mayor número de obreros.

Plan de Cierre

Una vez se haya explotado toda el área de la zona actualmente explotable en el lote de la mina de barro liso, se procederá a delimitar un nuevo sector del lote para continuar la explotación con el mismo método propuesto. La zona explotada, entonces, podrá arrendarse para cultivos de arroz. Se tendrá cuidado de no bloquear la(s) vía(s) de acceso a la futura zona de explotación, ya que por ella(s) deberá circular la maquinaria pesada.

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

El deber de manejar adecuadamente los recursos naturales renovables y la integridad y disfrute del ambiente, es compatible y concurrente con la necesidad de fomentar y desarrollar racionalmente el aprovechamiento de los recursos mineros como componentes básicos de la economía nacional y el bienestar social.

Evaluación de Impactos

La evaluación es un proceso directamente encaminado a comparar los resultados producidos en distintos lugares, o en distintos momentos. La identificación de los impactos busca los enlaces-clave entre el proyecto minero y el medio ambiente.

El impacto más severo en el proceso de minería actual afecta el suelo y consiste en la ocupación del suelo fértil por la creación de huecos y zanjas y la acumulación de residuos alrededor de éstos; también el relleno con aguas lluvias de estos huecos puede convertirse en peligro para el ganado, e incluso para las personas.

Como se mencionó en el Plan de Explotación propuesto, se pretende retirar y acopiar la capa vegetal de las zonas ocupadas por la explotación, y una vez extraído el material arcilloso, se procede a rellenar los huecos dejados con la capa vegetal. La recuperación de los terrenos cuando es posible aplicar este método resulta sencilla, pues el remodelado se traduce en una simple nivelación de los materiales superficiales, extendiendo la capa vegetal que se retira de los bloques que se preparan para su explotación. Posteriormente se recupera el terreno al permitir la utilización productiva y ecológica por medio de cultivos.

Impactos sobre el agua superficial se pueden originar al derivarse de las operaciones mineras partículas sólidas que generan turbiedad en las aguas superficiales y en aquellas que fluyen por canales y acequias. Las acciones correctoras a realizar son la no-explotación de la mina en días lluviosos, cargar el material sobre el vehículo de transporte lejos del canal de irrigación adyacente a las minas y evitar la caída del material durante el cargue y transporte del mismo.

Se genera impacto sobre la morfología y el paisaje al perturbar el carácter global del paisaje, con los huecos dejados después de la explotación. Para corregir este problema, se debe reducir en lo posible el tamaño de las excavaciones y remodelar el terreno alterado utilizando los productos de las excavaciones para rellenar estos lugares.

Se debe: plantar árboles y arbustos que actúen como pantallas visuales; proteger la vegetación existente, cuidando de que no se corten raíces de árboles grandes y fertilizando; hacer revegetación general con las especies autóctonas de la zona y/o cultivos adecuados para la adaptación de la zona afectada por la explotación del paisaje circundante.

Un tipo de contaminación podría ser el ruido generado por la maquinaria pesada, en el caso que ésta se utilice, para lo cual la medida a seguir es disminuir al menor tiempo posible el trabajo de esta maquinaria.

Otras medidas preventivas para implementarse pueden ser:

- Aprovechamiento integral de las materias primas.
- Mejora de las vías ya existentes.
- Disposición de letreros en los lotes indicando la ubicación de los mismos, y si es el caso, la existencia de peligro.

Aspectos Sociales y Económicos

La Cooperativa de Artesanos de La Chamba deberá favorecer la comercialización organizada de los productos elaborados por ella; permitir a sus asociados trabajar en forma solidaria y participativa y desarrollar sus aptitudes administrativas, promoviendo la búsqueda de soluciones a los problemas colectivos. Tendrá como objetivo principal el participar en convenios y proyectos de fomento y promoción de la investigación y su aplicación, la transferencia de tecnología, la comercialización, el desarrollo de valor agregado, la creación y manejo de fondos rotatorios.

El Comité Educativo Ambiental deberá realizar un programa que permita lograr lo siguiente:

- Hacer que los artesanos tomen conciencia sobre la sostenibilidad del recurso mineral y sobre el medio ambiente.
- Alentar a los artesanos a seguir el método de explotación propuesto.
- Capacitar a los artesanos para asumir responsabilidades que exija el plan de explotación.
- Otorgar reconocimiento a los artesanos por sus esfuerzos para el éxito del plan de explotación.

Todos los datos reunidos deben ser examinados regularmente por el comité para hacer recomendaciones e implementar cambios. Se debe recopilar periódicamente información de realimentación proveniente de toda la comunidad, incluyendo éxitos y fracasos del plan; esta información debe ser entregada a la Cooperativa.

Es importante que si cambian los procedimientos de la minería, deben programarse sesiones de capacitación para mantener actualizados a los artesanos. Las directivas de la Cooperativa de Artesanos y el Comité Educativo Ambiental deben mantener a los artesanos continuamente informados sobre los beneficios del plan de explotación y beneficio de arcillas, y alentarlos a presentar ideas sobre el mismo.

Tabla 24. Datos generales sobre los barro liso y arenoso

Arcilla	Area lote	Area explotable	Esesor	Volumen	Densidad	Reservas	Ritmo explotación	Vida	Vida (10% desperdicio)
Barro Liso	42,600 m ²	28,070 m ²	0.23 m	6,456 m ³	1.37 g/cm ³	8,844.9 tn	547.56 tn/año	16 años 2 meses	14 años 8 meses
Barro Arenoso	48,700 m ²	28,535 m ²	0.20 m	5,707 m ³	1.5 g/cm ³	8,560.5 tn	717.42 tn/año	11 años 11 meses	10 años 10 meses

Tabla 25. Ritmo de explotación de los barro liso y arenoso en la Vereda La Chamba

RITMO DE EXPLOTACIÓN	Barro Liso			Barro Arenoso			Barniz			TOTAL	
	tn/mes	tn/año	tn/mes	tn/año	tn/mes	tn/año	tn/mes	tn/año	tn/mes	tn/año	tn/año
1 taller grande	1.294	15.528	1.727	20.724	0.074	0.888	0.074	0.888	3.095	37.14	37.14
1 taller pequeño	0.712	8.544	0.93	11.16	0.035	0.420	0.035	0.420	1.677	20.124	20.124
5 talleres grandes	6.47	77.64	8.635	103.62	0.37	4.44	0.37	4.44	15.475	185.7	185.7
55 talleres pequeños	39.16	469.92	51.15	613.8	1.925	23.1	1.925	23.1	92.235	1,106.82	1,106.82
TOTAL	45.63	547.56	59.785	717.42	2.295	27.54	2.295	27.54	107.71	1,292.52	1,292.52

Tabla 26. Relaciones entre los barro liso y arenoso

1 Kg pasta necesita:	567 g Barro Arenoso	Barro Arenoso/Barro Liso (peso)	Barro Arenoso/Barro Liso (volumen)
	433 g Barro Liso	4/3	6/5