

*Trabajo de Diploma en opción al título
de Ingeniero Geólogo.*

Tema: Evaluación de las arcillas de un nuevo sector
en Centeno, para su utilización en la Cerámica
roja del municipio de Moa.

Autor: Misael Báez Gómez

Tutores: Dr.C Carlos Alberto Leyva Rodríguez.

Dr.C Gerardo Orozco Melgar.

Curso: 2017-2018

“Año 60 de la Revolución”

*Trabajo de Diploma en opción al título
de Ingeniero Geólogo.*

**Tema: Evaluación de las arcillas de un nuevo sector
en Centeno, para su utilización en la Cerámica
roja del municipio de Moa.**

Autor: Misael Báez Gómez

Tutores: Dr.C Carlos Alberto Leyva Rodríguez.

Dr.C Gerardo Orozco Melgar.

Curso: 2017-2018

“Año 60 de la Revolución”

Declaración de Autoría:

Yo: **Misael Báez Gómez**, autor de este Trabajo de Diploma que tiene como tema: **Evaluación de las arcillas de un nuevo sector en Centeno, para su utilización en la Cerámica roja del municipio de Moa**, y los tutores: **Dr.C Carlos Alberto Leyva Rodríguez y Dr.C Gerardo Orozco Melgar**, declaramos la propiedad intelectual de este al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) para que el mismo disponga de su uso cuando estime conveniente.

Para que así conste el presente a los ____ días del mes de _____ 2018

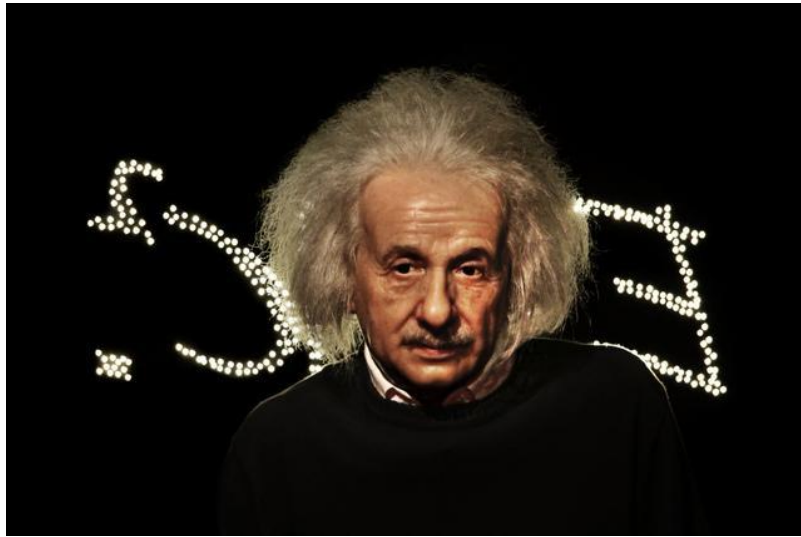
Diplomante: Misael Báez Gómez

PENSAMIENTO

La recompensa del saber

«Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como la oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber».

Albert Einstein



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a mis padres a mi madrastra, porque estuvieron en los momentos más difíciles de mi vida brindándome amor y apoyo durante toda mi vida.

A mi hermano por darme su amor y cariño.

A mis amigos, los de mi infancia y a los de la universidad, que de una manera u otra siempre han estado a mi lado apoyándome en los momentos buenos como en los malos.

A mis tíos y tías por formar parte de mi educación, a mis primos y primas.

A toda mi familia porque de una forma u otra forman parte de mi vida.

A todos mis amigos por brindarme en cada momento su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de diploma es el resultado de los cinco años más difíciles de mi vida y del esfuerzo y dedicación de varias personas. Quisiera agradecer a todas las personas que siempre me apoyaron durante estos cinco años.

A mi madre y mi padre porque siempre están cuando los necesité y sin su ayuda durante toda mi vida no hubiese podido alcanzar este sueño.

A mi otra madre Idalmis Guerra Valladares porque gracias a ella hoy soy un. A mi abuelo Luis y mi abuela Aurora porque me han brindado apoyo. A mis tíos y tías, a mis primos porque de una forma u otra forman parte de mí.

A mis tutores el Dr. C Carlos Leyva Rodríguez y el Dr. C Gerardo Orozco Melgar porque sin su apoyo no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

A los profesores del Departamento de Metalurgia, el Dr. C Roger Almenares Reyes y Mr. C Yúnior

A mis abuelos por preocuparse siempre por mí, aunque no estemos cerca.

A todos mis amigos que siempre me han brindado su apoyo, su amor y cariño.

A mis compañeros de aula, que me extendieron su mano cuando más lo necesité. Al claustro de profesores del Departamento de Geología del

ISMM por su entrega y dedicación en cada una de las clases impartidas en el transcurso de todos estos años.

A las personas hoy presentes.

A todos los que contribuyeron para poder realizar este trabajo de diploma. A la Revolución Cubana, y a su líder indiscutible Fidel Castro Ruz por darme la oportunidad de formarme como una profesional competente.

Les pido disculpa a las personas que no mencioné pero quiero que sepan que les agradezco a todas las personas que me apoyaron incondicionalmente

RESUMEN

El presente trabajo muestra la evaluación de los materiales arcillosos en el nuevo sector de Centeno-Moa con y sin adición de tobas vítreas pertenecientes al municipio de Sagua de Tánamo para su utilización en la Empresa Industrias Locales y La Empresa Constructora de Obras del Poder Popular (ECOPP), ya que el insuficiente conocimiento de este nuevo sector limita su utilización.

Se estudian dos mezclas de cerámicas confeccionadas con diferentes dosificaciones de arcillas, así como los factores que intervienen en la correcta elaboración de las mezclas: tamaño del grano, condiciones de secado y temperatura de cocción. Los parámetros tecnológicos determinados fueron los porcentajes de contracción lineal, pérdida de peso, absorción de agua, así como la resistencia a la compresión expresada en MPa. Se caracterizaron además las muestras mediante difracción de rayos x. Se evaluaron las mezclas de las arcillas de Centeno con 10% de tobas vítreas para su empleo en la fabricación de ladrillos cerámicos.

Mediante las diferentes pruebas realizadas se logró obtener resultados satisfactorios que permiten proponer este nuevo sector para la fabricación de ladrillos, dentro de la industria de materiales de construcción en Moa.

ABSTRACT

The present work shows the evaluation of clay materials in the new sector of Centeno-Moa with the addition of vitreous tuffs belonging to the municipality of Sagua de Tánamo for use in the Company Local Industries and the Construction Company of Popular Power Works (ECOPP), since the insufficient knowledge of this new sector limits its use.

Two mixtures of ceramics made with different dosages of clays are studied, as well as the factors that intervene in the correct elaboration of the mixtures: grain size, drying conditions and cooking temperature. The technological parameters determined were the percentages of linear shrinkage, weight loss, water absorption, as well as the resistance to compression expressed in MPa. The samples were further characterized by x-ray diffraction. The mixtures of the Rye clays with 10% glass tuffs were evaluated for their use in the manufacture of ceramic bricks.

Through the different tests carried out, satisfactory results were obtained that allow proposing this new sector for the manufacture of bricks, within the construction materials industry in Moa.

ÍNDICE

Introducción.....	1
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	4
ESTADO DEL ARTE	15
CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA REGIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO	18
1.1 Características físico- geográficas	18
1.1.1 Ubicación geográfica de la región.....	18
1.1.2 Relieve.....	19
1.1.3 Clima.....	20
1.1.4 Red hidrográfica.....	20
1.1.5 Vegetación.....	21
1.1.6 Demografía	23
1.1.7 Desarrollo económico de la región.....	23
1.2 Características geológicas del territorio	24
1.2.1 Estratigrafía.....	25
1.2.2 Tectónica	29
1.2.3 Magmatismo	32
1.2.4 Características geomorfológicas.....	33
1.3 Caracterización del área de estudio.....	33
Ubicación geográfica de la región de estudio	33
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN ..	36
2.1 Toma de muestras	37
Preparación de las muestras para la fabricación de cerámica.....	38

2.1.2 Metodología para la realización de los ensayos.	43
2.2 Trabajos de gabinete	47
CAPITULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	48
3.1 Resultados de los análisis difractométrico de la arcilla sin calcinar y calcinada de la nueva área de estudio de la región de Centeno.....	48
3.1.1 Análisis de los resultados de pérdida de peso	50
3.1.2 Análisis de los resultados de la contracción total del ladrillo.....	51
3.1.3 Resultados de la absorción de agua.....	53
3.1.4 Análisis de los resultados de resistencia a la compresión.	55
3.2.1 Problemas fundamentales que provoca la extracción al medio	57
3.2.2 Medidas específicas según la actividad a realizar	58
3.2.3. Propuesta ambiental para la quema de productos ceramicos empleando el bloque solido combustible.....	59
Conclusiones.....	61
Recomendaciones.....	62
Bibliografía	63
anexos.....	66

INTRODUCCIÓN

El municipio de Moa posee grandes riquezas minerales que son reconocidas internacionalmente y actualmente están en explotación. Sin embargo existen otros recursos minerales con muy poco aprovechamiento; entre estos se encuentran las cortezas de meteorización desarrolladas sobre las rocas básicas que pueden ser empleadas en la fabricación de cerámica roja para la producción de ladrillos, pigmentos, tejas, rasillas, cemento de bajo carbono, etc.

Las arcillas constituyen la principal materia prima para la fabricación de productos cerámicos para la construcción. Ellas aparecen en todo tipo de formaciones rocosas, ígneas y sedimentarias, desde las más antiguas hasta las recientes. Sus características físicas, químicas y mineralógicas varían ampliamente, incluso entre las capas de un mismo depósito arcilloso. Al principio eran utilizadas tal y como aparecen en la naturaleza, sin hacerle muchos cambios para los fines que se perseguían. Con el desarrollo de la ciencia y la técnica, el hombre ha podido descubrir que estos materiales, que resultaban tan fácil de trabajar y manipular, no son, en realidad tan simples, a pesar de que son aprovechadas por los seres humanos para varios fines, como la cerámica artística y la producción de materiales de construcción como ladrillos, tejas, pigmentos, etc. (Hidalgo, 2013).

La industria de materiales de la construcción, que agrupa variados procesos industriales tradicionales, específicamente la producción de materiales cerámicos, se ha visto afectada por los altos costos de los combustibles como es el caso específico de la industria de las arcillas para la fabricación de materiales de la construcción. Considerando que las operaciones que se han realizado en la región de Moa a través de los años no cuentan con un diseño adecuado de explotación, se ha dispuesto realizar un trabajo para la caracterización de arcillas con la finalidad de producir ladrillos en la Empresa Industrias Locales y la ECOPP localizadas en el Reparto Armando Mestres del municipio de Moa.

El tejar de Centeno lleva casi cinco años sin producción de ladrillos, motivado por el hecho de no haber sido otorgados los derechos de concesión minera. Las principales

limitaciones de los sectores tradicionalmente explotados están en la cercanía a carreteras principales y a viviendas y cursos fluviales. Todas estas causas traen consigo la necesidad de que sean evaluados nuevos sectores para lograr poner en producción este tejar, contribuyendo a la producción local de materiales de construcción en el municipio.

Situación Problemática

Necesidad de determinar las propiedades de la mezcla de las arcillas presentes en el nuevo sector de Centeno con las tobas vítreas para utilizarlas en cerámica roja.

Problema

El insuficiente conocimiento de las propiedades de la mezcla de las arcillas presentes en el nuevo sector de Centeno con adición de tobas vítreas para la producción de cerámica roja en el municipio de Moa.

Campo de acción

Propiedades físico-mecánicas de los materiales arcillosos en la industria de cerámica roja.

Objeto de Estudio

Las arcillas del nuevo sector en la Granja de Centeno.

Hipótesis

Si se determinan las propiedades físico - mecánicas de las mezclas obtenidas a partir de las arcillas del nuevo sector de Centeno con adición de tobas vítreas, es posible elaborar la propuesta de mezcla adecuada para emplearlas en la industria local para la producción de cerámica roja.

Objetivo General

Evaluar las mezclas de arcillas del nuevo sector de Centeno con adición de tobas vítreas para su utilización en la Industria de la cerámica roja en el municipio de Moa.

Objetivos Específicos

- Definir sectores favorables que garanticen la calidad esperada, para proponer la extracción de los materiales arcillosos de Centeno.
- Determinar las propiedades físico - mecánicas de las mezclas de arcillas en el nuevo sector de Centeno.
- Evaluar diferentes tipos de mezclas y proponer las adecuadas para su utilización en Industrias Locales y la ECOPP en el municipio de Moa.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Generalidades

Para la confección de este trabajo se realizó un análisis sobre los diferentes aspectos que se encuentran relacionados con los temas discutidos en la bibliografía consultada, acerca de las arcillas, con el objetivo de disponer de los elementos básicos para la realización del trabajo. Se expone el estado del arte, los conceptos y consideraciones teóricas sobre las arcillas.

Generalidades de las arcillas

Se puede definir la arcilla de manera general como una sustancia mineral terrosa compuesta en gran parte de hidrosilicato de alúmina que se hace plástica cuando se humedece, dura y semejante a la roca cuando se cuece.

Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos y de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, la arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 μm .

Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica utilizado para la fabricación de artículos de alfarería y ladrillos.

Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas. Con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físicas-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 μm).

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. En la fracción textural *arcilla* puede haber partículas no minerales, (los fitolitos). Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$

$2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Por esta razón el término arcilla no corresponde a una composición química o mineralógica definida; las arcillas son mezclas de diversas especies minerales, esto dependerá de la composición de la roca madre de partida. Es muy complicado el estudio de las mismas y la evaluación de los yacimientos que, presentan una elevada heterogeneidad. El término caolín, sin ser mucho más preciso, designa a una arcilla con un elevado porcentaje de caolinita (mínimo 80%) y con un bajo contenido de impurezas, especialmente, en el contenido de óxido de hierro. La composición teórica de la caolinita es: Alúmina (Al_2O_3): 39,56 %, óxido de silicio (SiO_2): 46,54 %, y agua (H_2O): 13,90 % en masa. En las arcillas naturales dichos porcentajes son distintos por la presencia de otros minerales y de impurezas como: el óxido de titanio, calcio, magnesio, potasio, sodio y hierro. El contenido importante de éste último es característico de las arcillas rojas utilizadas en la fabricación de ladrillos y tejas. (Téllez, 2013)

Clasificación de las arcillas

Las arcillas se pueden clasificar de acuerdo con varios factores. Así, dependiendo del proceso geológico que las originó y a la ubicación del yacimiento en el que se encuentran, se pueden clasificar en:

Desde el punto de vista geológico

La arcilla se enmarca dentro de los tipos genéticos de yacimientos sedimentarios (secundarios) y residuales (primarios), con edades del Pre-Cuaternario hasta Plioceno – Cuaternario.

Sedimentario (secundarios): Forman parte de los depósitos aluviales indiferenciados, aluvio – deluviales y aluvio – marinos del Plioceno – Cuaternario del neoautóctono o cobertura joven, asociándose a distintas terrazas del cauce inferior de los ríos. Son de composición montmorillonítica e illítica y forman desde capas extensas hasta lentes pequeños interdigitados con arena y grava, con espesor útil no mayor de la decena de metros. También forman parte de la cobertura del Paleógeno medio – Neógeno tardío. Tienen composición predominante montmorillonítica con

contenido calcáreo en algunas regiones, forman capas de espesor y extensión estables en las formaciones con predominio pelítico, pero en otras, su distribución en el corte es pobre y de poco espesor. (IGP, 2011).

Residuales (primarios): Se asocian a las cortezas de intemperismo desarrolladas sobre las más diversas rocas que afloran en el archipiélago cubano, principalmente sobre granitoides, serpentinitas y gabroides, originando arcillas de composición montmorillonítico – illítica con contenidos variables de caolinita; en algunas regiones forman capas y lentes irregulares en espesor y distribución areal, en dependencia de los factores que controlan la formación y acumulación del eluvio. El espesor útil es de pocos metros. (IGP, 2011).

Hidrotermales: Se asocian a las lavas y toba andesítica alterada hidrotermal e hipergénicamente de los arcos volcánicos Cretácico y Paleógeno. Composición: montmorillonítico – caolinítica con plasticidad media hasta alta. Forman capas irregulares y bolsones con fragmentos de roca madre y nódulos de CaCO_3 y Fe. Su espesor útil es variable y no excede los 10 m. Son utilizadas en la cerámica. Las ocurrencias de arcilla pertenecen a las siguientes formaciones geológicas; Agua Santa (J2 - j52), aluvio, Arabos (n2-3), Camacho (Q13) Caobilla (k3 - k51), Cauto (Q13), El Cobre grupo (E1-e5a), eluvio/carbonatadas, eluvio/metamórficas, eluvio/ofiolitas, eluvio/vulcanitas, Guane (N22-Q11), Guevara (Q11), Güines (n2-5), Lagunitas (e9 - N11), La Cruz (N13b- N21), Nuevitas (e7), Nazareno (e5-8), Paso Real (e9 - n5), San Luis (e5b - e7), Saramaguacán (e5b - e7), Universidad grupo (e4b - e5a), Vázquez (n2-3), Vertientes (e4b - e5a), Vigía (E12 - e5) y Villaroja (Q12). (IGP, 2011)

También se pueden distinguir las arcillas de acuerdo a su plasticidad. Existen así las arcillas plásticas (montmorilloníticas) y las poco plásticas.

Granulometría

Dentro de la clasificación granulométrica de las partículas del suelo, las arcillas ocupan el siguiente lugar (tabla 1):

Tabla 1. . Clasificación granulométrica. (Wales, 2001)

No.	Partículas	Tamaño
1	Arcillas	< 0.002mm
2	Limos	0.002-0.06mm
3	Arenas	0.06-2mm
4	Gravas	2-6mm
5	Cantos rodados	6-25mm
6	Bloques	> 25mm

Propiedades físico-químicas de las arcillas

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envoltura sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. Su elevada plasticidad se debe a su morfología laminar, tamaño de partícula muy pequeño y a su alta capacidad de hinchamiento.

Todas las arcillas son refractarias, es decir resisten los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones, aunque cada tipo de arcilla tiene una temperatura de cocción diferente. La porosidad en las arcillas varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo.

Plasticidad: mediante la adición de una cierta cantidad de agua, la arcilla puede adquirir la forma que uno desee. Esto puede ser debido a la figura del grano (cuanto más

pequeña y aplanada), la atracción química entre las partículas, la materia carbonosa, así como una cantidad adecuada de materia orgánica.

Podríamos hablar teniendo en cuenta una de las propiedades de la arcilla como es la plasticidad de dos tipos: las arcillas plásticas y las antiplásticas (tabla 2).

Arcillas plásticas: hacen pasta con el agua y se convierten en moldeables.

Arcillas antiplásticas: confieren a la pasta una determinada estructura, que pueden ser químicamente inertes en la masa o crear una vitrificación en altas temperaturas. (Moreira Chacón, 2015).

Tabla 2. Clasificación de las arcillas según su plasticidad según los datos de Priklonski por el método de Casagrande.

Arcillas	Número de plasticidad
De alta plasticidad	Mayor que 17
Plásticas	7 - 17
De baja plasticidad	0 - 7

Merma: debido a la evaporación del agua contenida en la pasta se produce un encogimiento o merma durante el secado.

Refractariedad: todas las arcillas son refractarias, es decir resisten los aumentos de altas temperaturas sin sufrir variaciones, aunque cada tipo de arcilla tiene una temperatura de cocción.

Capacidad de la arcilla de endurecer al secarla: una particularidad de la pasta de arcilla es su capacidad de endurecer al secarla al aire libre. La resistencia mecánica de la arcilla secada viene condicionada por la acción de las fuerzas de Van der Waals y la cementación de los granos de minerales por los iones de impurezas. Las fuerzas de presión capilar atraen las partículas de arcilla impidiendo su corrosión, a consecuencia de lo que tiene lugar la retracción aérea.

Durante la saturación de agua desaparecen los meniscos, cesa la acción de las fuerzas capilares, las partículas se desplazan libremente en el exceso de agua y la arcilla se empapa.

Retracción de la arcilla: la retracción consiste en que se reducen dimensiones lineales y el volumen de la materia bruta de arcilla durante su secado (retracción térmica). La retracción se expresa en por ciento del tamaño inicial del artículo.

La retracción aérea transcurre en el proceso de evaporación del agua a partir de la materia bruta, como consecuencia de la disminución del espesor de las capas acuosas alrededor de las partículas de arcilla, aparición en los poros de la materia bruta de meniscos y fuerzas de presión capilar, pendientes a cercar las partículas. Para diferentes arcillas la retracción aérea lineal oscila entre 2-3 y 10-12 %.

Porosidad: el grado de porosidad varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción. Las arcillas que cuecen a baja temperatura tienen un índice más elevado de absorción puesto que son más porosas.

Color: las arcillas presentan coloraciones diversas después de la cocción debido a la presencia en ellas de óxido de hierro, carbonato de calcio, etc.

Capacidad de absorción: Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100 % con respecto al peso.

Hidratación e hinchamiento: la hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque la hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

Tixotropía: la tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si a continuación se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

Al añadir una pequeña proporción de arcilla al agua esta permanece flotando sobre el líquido indefinidamente, alcanzando el estado coloidal. Sin embargo, si se añade aún más, el líquido se torna viscoso y se resiste a fluir; en cambio, si se agita vigorosamente la suspensión, el líquido recupera su fluidez, perdiéndola nuevamente al cesar la agitación. A esta propiedad se le llama tixotropía, y es típica de muchas de las arcillas comunes.

Temperatura de vitrificación o transición al estado pétreo durante la cocción: la vitrificación es el proceso de fusión gradual el cual, como fase final, varios de los constituyentes que más fácilmente se funden, producen un incremento de cantidades de líquido a medida que la temperatura se incrementa. Esta fase líquida (masa silícea fundida) no sólo cementa las partículas de arcilla, sino también compacta el material cerámico.

De 0° a 400°C. En este intervalo de tiempo se produce la desecación (eliminación del residuo de agua) y el quemado de las materias orgánicas (o sea, las impurezas que contenga). En esta etapa hay dilatación, no se produce cambios químicos ni estructurales.

De 400° a 600°C. En esta etapa se desprende el agua químicamente unida, descomponiéndose la arcilla en óxidos, cesa la dilatación y comienza la contracción en volumen.

De 600° a 900°C. Se forma un metacaolín muy inestable que tiende a formar alúmina, muy higroscópico (es decir, absorbe mucha agua).

De 900° a 1000°C. Durante este periodo reacciona la alúmina con la sílice y se forma el silicato de aluminio (SiO_2 . Al_2O_3) llamado en mineralogía sillimanita.

Más de 1000 °C. La sillimanita tiende a transformarse en mullita, un mineral de gran dureza ($3\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2$).

Influencia de la composición química de una arcilla para producir ladrillo

1. Contenido de álcalis y ácidos: menor del 0.2%. Puede causar eflorescencia por un porcentaje menor o mayor.
2. Sustancia solubles (sales: sulfato sódico, sulfato de magnesio), deben ser menor al 0.04 %.
3. Pirita (sulfuros de hierro). Su exceso puede producir una deposición sulfúrica en el momento de la cocción, ocasionando coloraciones indeseables y cuarteadoras sobre el material.

Clases industriales de arcilla

Arcillas refractarias

Arcillas refractarias: Consisten esencialmente en caolinita desordenada y además en halloysita, illita y cuarzo. Se distinguen arcillas con altos contenidos de SiO_2 , que se utilizan como arenas de moldeo, y arcillas con altos contenidos de Al_2O_3 que se aplican mayoritariamente como materia prima para chamota o como arcillas aglomerantes. Según (AGST, 1986) se llaman arcillas refractarias a aquellas arcillas que pueden resistir a temperaturas de 1.500°C (cono SEGER 18); arcillas con un punto de reblandecimiento de más de 1.790°C se designan altamente resistentes al fuego (cono SEGER 35-36). La resistencia al fuego aumenta con crecientes contenidos de Al_2O_3 . Arcillas en bruto, altamente refractarias, contienen de 38 % – 42 % de Al_2O_3 ; < 2 % – 3 % de Fe_2O_3 y deben presentar sólo menores pérdidas por calcinación (carbón/materia orgánica) para reducir a un mínimo la contracción por cocción. (IGP, 2011)

Caolín o arcilla de china

Son arcillas primarias (aunque también existen caolín secundario) que se han formado por la meteorización in situ del feldespato. Sus partículas son de gran tamaño y por ello resulta menos plástico en comparación con otras arcillas. Están corrientemente mezclados con fragmentos de roca de feldespato y cuarzo. Por ello se hace necesario utilizar algún método para su purificación. Su composición química se aproxima a la fórmula del mineral caolinita.

Se trata de una arcilla altamente refractaria, con un punto de fusión por encima de los 1.800°C . En la práctica, raramente se utiliza el caolín en sí mismo dado a su alto grado de refractariedad y su poca plasticidad, por ello se añaden a él otros materiales aunque se debe decir que no todos los caolines son iguales en color y plasticidad.

Arcilla para barro cocido

Son muy corrientes y suelen contener hierro y otras impurezas minerales por lo que su grado de cocción es de $950-1100^\circ\text{C}$. En bruto esta arcilla es roja, marrón, verdosa o gris por la presencia del óxido de hierro, y tras su cocción puede variar de color. Se trata de la materia común para los ladrillos, baldosas, tubos de drenaje, tejas, etc. En la preparación

de una pasta cerámica existen tres ingredientes principales: los elementos plásticos, los magros o desengrasantes y los fundentes. La proporción y calidad de estos tres ingredientes determinará el producto cerámico.

Arcilla para gres o arcilla para loza

Las arcillas para loza son generalmente arcillas secundarias y plásticas que se funden a 1 200-1 300°C. Su color de cocción va desde un gris claro a un gris oscuro o marrón.

Cambian mucho de color, plasticidad y temperatura de cocción sin haber una distinción clara entre arcilla refractaria o para loza. La distinción se suele basar según el uso que se haga de la arcilla más que por su naturaleza química o física.

Esta puede presentar un grado óptimo de plasticidad así como de cocción o puede mejorarse añadiendo feldespato para ajustar su temperatura y plasticidad.

Usos de las arcillas en la Industria Nacional

Actualmente en nuestro país se utilizan en:

- Ladrillos para paredes (ladrillos macizos, ladrillos huecos, ladrillos aligerados, bloques aligerados, ladrillos de cara vista).
- Tejas.
- Paredes de techo (elementos de construcciones horizontales).
- Elementos de drenaje (tubos de drenaje).
- Baldosas de piso, lozas de azotea.
- Artículos de uso doméstico.
- Electro – cerámica, cerámica sanitaria.
- Cerámica química, azulejos.
- Cerámica refractaria.

El principal uso de los materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas, alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad. Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas.

Son así mismo utilizadas en la manufactura de cementos, como fuente de alúmina y sílice, y en la producción de áridos ligeros (arcillas expandidas).

Unas de las alternativas viables que no se ha explotado suficiente para introducir mejoras en las materias primas y, a su vez tengan una influencia beneficiosa sobre la eficiencia energética y la calidad de los productos de cerámica roja, es el uso de fundentes como adicción a las pastas cerámicas; esta podría ser una alternativa mucho más económica a través de la disminución del consumo del combustible por la reducción de la temperatura de cocción en los hornos, provocando una disminución al impacto del medio ambiente. (Moreira Chacón, 2015)

Debido a que en nuestro trabajo emplearemos, aparte de las arcillas, mezclas de materiales tobáceos damos una información básica sobre los mismos.

Generalidades sobre las tobas vítreas: Es un tipo de roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica.

Se forma principalmente por la deposición de cenizas y lapilli durante las erupciones piroclásticas. Su velocidad de enfriamiento es más rápida que en el caso de rocas intrusivas como el granito y con una menor concentración en cristales.

El material tobáceo del yacimiento Sagua de Tánamo (tabla 3) se caracteriza por ser vitroclástico y vitrocristaloclastico, es de color blanco grisáceo, de granulometría fina a media, generalmente abrasivas al tacto, porosa, ácidas con alto contenido de SiO₂ (60,84 %) y contenido de vidrio volcánico superior al 50 %.

Tabla 3. Composición química de las tobas de Sagua de Tánamo. (Rodríguez 2011).

Composición química	MnO	FeO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	CaCO ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
%	—	0.48	2.56	2.68	3.82	4.5	5.02	14.22	60.8

Este depósito se ha estudiado para diferentes fines, principalmente como material puzolanico, áridos ligeros, material filtrante, etc.

ESTADO DEL ARTE

La invención de la cerámica se produjo durante la revolución neolítica, cuando se hicieron necesarios los recipientes para almacenar el excedente de las cosechas producido por la práctica de la agricultura. En un principio esta cerámica se modelaba a mano, con técnicas como el pellizco, el colombín o la placa (de ahí las irregularidades de su superficie), y tan solo se dejaba secar al sol en los países cálidos y cerca de los fuegos tribales en los de zonas frías.

Más adelante comenzó a decorarse con motivos geométricos mediante incisiones en la pasta seca, cada vez más compleja, perfecta y bella elaboración determinó, junto con la aplicación de cocción, la aparición de un nuevo oficio: el del alfarero.

En Cuba la industria cerámica ha tenido un amplio desarrollo a partir de 1959, sin embargo, este desarrollo y sobre todo, las investigaciones, estudios y los resultados a los que se ha llegado, no han quedado en la memoria escrita en nuestros archivos.

Existen actualmente muchas normas técnicas para la producción y el control de la calidad de ladrillos, azulejos y otros productos de la industria de los materiales de la construcción, sin embargo, no existe mucha información sobre los productos cerámicos utilitarios y ornamentales, los cuales, a pesar de tener características similares, no presentan los mismos requerimientos de calidad que los primeros.

De acuerdo con estudios precedentes (Pons y Leyva, 1996 y Orozco, 1995) las arcillas de Moa poseen un carácter semirrefractario y han sido utilizadas como morteros en los procesos de fundición de la Industria del Níquel y están siendo empleadas, en pequeños volúmenes, para la fabricación de materiales de la construcción. En las industrias locales del municipio se intentó utilizarlas como materia prima para la fabricación de tiestos, búcaros y otros, pero no se obtuvieron buenos resultados, ya que las piezas se agrietaban durante el secado y se rompían durante la cocción.(Moreira Chacón, 2015).

Investigadores del territorio (Orozco, 1995; Leyva, 1996) determinaron el origen geológico de las arcillas en Moa, el cual está dado por la existencia de manifestaciones de arcillas caolinítica, las cuales una parte considerable se encuentra relacionada con cuerpos de gabros de diversas dimensiones.(Orozco, 1995)

Villar Reyes, Rafael. 2005 en el Proyecto de actualización del yacimiento Arcilla Bayamo, Provincia Granma demostró que el mismo está formado por arcillas, arcillas arenosas, arenas arcillosas, gravas y gravas arenosas.

Fadel Luali, Marabih. 2005 realizó una evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa, para ello se analizaron cuatro horizontes a partir de análisis de difracción de rayos x donde quedó demostrado que predomina en el área la Gibbsita y la Caolinita.

Cabo de Villa Figueiral, Sergio. 2010 realizó una valoración de mezclas de arcillas de la región de Centeno para su utilización en la industria de materiales locales. El mismo llegó a las conclusiones de que las mezclas con adición de tobas vítreas presentan mayor absorción de agua a medida que se aumenta su contenido en la mezcla, experimentando mayor pérdida de peso al cocerla hasta 750 °C, lo que demuestra las ventajas de esta propiedad de tener mayor facilidad de colocación de los ladrillos cerámicos, a la vez que incrementan las propiedades de mayor aislamiento térmico y acústico.

Sosa Díaz, Jorge A. 2011 en el Informe sobre la Exploración adicional en la porción del Yacimiento Arcilla de Bayamo determinó de que las mismas son de origen aluviales, de sedimentos muy finos donde se aprecian finas capas o intercalaciones con granulometrías más gruesas y capas con alto contenido de carbonato de calcio.

Díaz, Yosvany; Betancourt, Dania y Martirena, Fernández. 2011 realizaron una investigación acerca de la influencia de la finura del molido de Carbonato de Calcio en las propiedades físicas-mecánicas y de durabilidad de los ladrillos de cerámica roja, donde se demostró que la finura del carbonato de calcio adicionado en muy pequeñas dosis (a partir de los 150 μm) comienza a ser beneficioso para la calidad de material en pequeñas cantidades (menos del 10 % del peso de la arcilla).

Tendai, Njila. 2011 en su caracterización químico-mineralógica de cortezas de meteorización ferrosialíticas en el noreste de Cuba oriental refiere que las arcillas de Cayo Guam pueden ser empleadas para elementos refractarios.

Rodríguez Reyes, Isail. 2013 realizó una caracterización de materiales arcillosos del depósito Cayo Guam para su posible empleo como material cementicio suplementario donde determinó debido a sus características químicas, estructurales y a su amplia disponibilidad, las arcillas de la región de Cayo Guam pueden ser transformadas en materiales de carácter puzolánico a partir de su activación térmica, además concluyó que las arcillas de la región de Moa, potencialmente pueden ser utilizadas en la industria de la cerámica roja y del cemento LC3. (Moreira Chacón, 2015).

CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA REGIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO

Introducción

En el presente capítulo se exponen las principales características físico –geográficas y económicas de la región del área en estudio, constituidas por arcilla y corteza desarrollada en la zona de Centeno y Cayo Guam.

1.1 Características físico- geográficas

1.1.1 Ubicación geográfica de la región

El área de estudio se encuentra enmarcada en zonas del municipio de Moa, el cual se encuentra situado en el extremo este de la provincia de Holguín, en Cuba. Es esencialmente montañoso con una estrecha franja semi llana en la costa Atlántica limitando al norte, donde se asientan los principales conglomerados poblacionales. Su geografía se extiende en todo el macizo montañoso Sagua-Baracoa que forma parte del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, rico en fauna y flora con numerosas especies autóctonas. En este hermosísimo paisaje, cuya altura mayor es el pico El Toldo con 1 117 metros de altura, están enclavados 4 asentamientos poblacionales rurales, los cuales tienen como actividad económica fundamental el cultivo del café, la silvicultura y la minería; en el municipio se encuentran los principales yacimientos de minerales lateríticos con altos contenidos de hierro, níquel, cobalto y otros minerales, en la que se ha desarrollado una poderosa industria niquelífera con un volumen productivo anual de más de 65 000 toneladas. La cabecera municipal es la ciudad de Moa clasificando en la categoría de ciudad de segundo orden conforme a la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI, 2015) (fig.1).

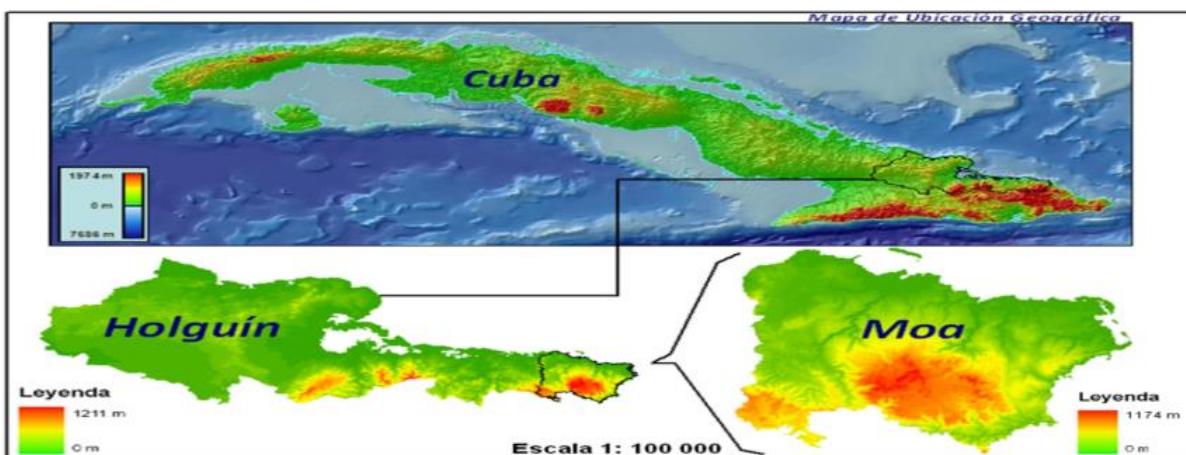


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica (Viltres, 2010).

1.1.2 Relieve

Es mayormente montañoso dado que Moa se encuentra situada en medio del Sistema Montañoso Nipe-Sagua-Baracoa. Se destacan algunas alturas superiores a los 1000 metros, la mayor de ellas es el pico El Toldo, en las cuchillas de Moa, con 1170 metros sobre el nivel del mar, espacio de interesantes variedades de helechos.

La franja costera tiene una profundidad de unos mil metros, llana y en ocasiones con ligeras alturas. Esa zona es seguida por un sistema pre montañoso que se prolonga hasta unos seis a diez kilómetros al sur de la costa con alturas medias entre 200 y 500 metros. Sus principales elevaciones son el Cerro de Miraflores al oeste, las minas de la fábrica Pedro Sotto Alba y las alturas de Cayo Guam.

La otra característica del territorio es la parte montañoso, con alturas entre 500 y más de 1000 metros, que incluyen las Cuchillas de Moa, Calentura, Farallones y las de Gran Tierra.

La zona montañoso del territorio alcanza 363 km², el 50 % del total, se encuentra dentro del Plan Turquino y una gran parte de ella se encuentra dentro del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, Patrimonio de la Humanidad.

1.1.3 Clima

Las condiciones climáticas se caracterizan por un elevado nivel de precipitaciones durante el año. El clima es tropical, este se ve influenciado por la orografía. Las barreras montañosas del grupo Sagua - Baracoa sirven de pantalla a los alisios del noreste, los cuales provocan la ocurrencia de abundantes lluvias en la parte norte del municipio Moa.

Humedad relativa

La humedad relativa de la zona es alta debido a la exposición marítima del territorio, incluyendo en este aspecto a las precipitaciones, las que son abundantes en todo el año. Los meses que poseen los mayores valores se ubican en noviembre-abril, alcanzándose los valores máximos de diciembre a enero, lo cual se debe al ascenso orográfico o forzado del viento que favorece las altas precipitaciones al inicio y final del período de transición verano - invierno. La humedad relativa media más alta se alcanza en el horario de la mañana (7:30AM) y es del 90 al 95 % y la más baja ocurre en el horario de la tarde (1:30PM) siendo de 70 al 75 %.

1.1.4 Red hidrográfica

La red hidrográfica es abundante, sobre todo al este, con ríos de mediano caudal como el Potosí, Jiguaní, Quesigua y Cayo Guam, que corren entre las montañas de abundante vegetación, lo que hace que sus aguas sean siempre de una temperatura agradable para los bañistas y campistas. Algunos tienen bellísimas cascadas en su recorrido al mar. Las costas alcanzan una longitud de 50,1 kilómetros, cuenta con sólo un área de playa, Cayo Moa. En toda la costa sólo existen pequeños espacios con posibilidades de usarse para el disfrute de la población.

El municipio cuenta con la Bahía de Moa donde se desarrolla la actividad portuaria de gran importancia económica en la importación y exportación de mercancías tanto para la industria como para el resto de la economía. Esta instalación portuaria ampliada en su objeto social podría aportar a la economía holguinera y del país sustanciales ahorros de combustible y otros recursos, ya que se utilizaría, además del sistema de la Industria del Nique para la importación de mercancías para toda la parte norte de

esta región. También tiene enclavado en su litoral un puerto pesquero con un alto potencial por explotar.

La presa Nuevo Mundo, nombre con el que se conoce la presa de Moa es una de las más importantes de la provincia y quizás única de su tipo por haberse construido entre montañas y a gran altura sobre el nivel del mar.

Estos ríos desembocan en el océano Atlántico formando deltas cubiertos de mangles, apreciándose en los mismos una zona de erosión y otra de acumulación.

Los ríos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan no pocos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en la zona montañosa mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. Son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como origen las zonas montañosas del grupo Sagua - Baracoa. Generalmente sobrepasan los 1.5 m/s de velocidad, los gastos oscilan entre 100 y 400 L/s, en periodo de estiaje y hasta más de 300 m³/s durante avenidas en períodos húmedos. Se puede decir que el nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones, los niveles más bajos se observan en el período de seca, cuando los ríos se alimentan solamente de aguas subterráneas, correspondiente a los meses de julio a septiembre y los más elevados en la época de lluvias máximas, la cual está comprendida de octubre a enero. Producto de que los ríos anteriormente mencionados conforman las reservas naturales del municipio, los autores de esta investigación consideran necesario, dar una breve reseña de sus características generales.

1.1.5 Vegetación

El municipio forma parte del sistema montañoso Mayarí–Sagua–Moa–Baracoa, el mismo representa la zona de mayor biodiversidad del país con un 68 % de especies autóctonas (Reyes y del Risco, 1993).

Constituida por bosques húmedos, pinares y carrascales, la vegetación de Moa, ubica su zona más exuberante hacia la franja montañosa. Entre las especies de los bosques húmedos se destacan: ocuje, copey, júcaro amarillo, yagruma, palma maracanáy y pujúa. Asimismo, el 85 por ciento de las tierras, unas 60 000 hectáreas, son ocupadas

por bosques en su mayoría naturales, donde crecen pinos y carrascales. Mientras, las restantes 20 000 hectáreas han sido reforestadas y sembradas con coníferas y latófilas como: caoba, cedro, majagua, ocuje, eucalipto y otras.

Los pinares de Moa son los de mayor endemismo en Cuba (70 %), están formados principalmente por el Pino de Mayarí o de Moa (*pinus cubensis*), la dracaena cubensis, la palma miraguano, jazmín de sabana y otras. En Moa se distinguen dos tipos de charrascales: los que se encuentran cerca de las costas y los charrascales de las alturas. Los primeros alcanzan una altura de cuatro a seis metros -con palmas- y tienen un 85 % de endemismo.

Los charrascales de altura son arbustos de 2 metros de altura, se pueden encontrar pinos de baja altura y de ramas extendidas, propio de estas alturas, con un 70 % de endemismo.

Por estas características específicas, la región presenta un alto índice de endemismo que abarca cerca de 200 especies, muchas de ellas exclusivas. La zona del Parque nacional Alejandro de Humboldt se destaca en cuanto a la naturaleza endémica.

La vegetación presente en el área es variada, encontrando formaciones vegetales tales como: pinares, bosque en galería, arbustivo xeromorfo subespinoso (charrascal) y vegetación secundaria. En estos suelos se desarrolla el pino cubensis (pino de Moa) y plantas latifolias, muchas de ellas endémicas de esta región, formando bosques típicos sobre las laderas, las cuales alternan de pinares a bosques latifolios a una mezcla de ambos y de nuevo a pinares en forma cíclica, (Téllez Salazar,2015).

En la parte Norte (zona costera) es predominante el mangle rojo, en ocasiones mangle prieto, patabán y llana. En costas bajas cambia a saladares y prados de saladares.

1.1.6 Demografía

En ella se encuentra también una exuberante vegetación que se ubica hacia la zona montañosa convirtiéndose en un importante hábitat de diferentes especies muchas de ellas como jutía, el gavilán caguarero, el almiquí, polímitas de brillantes colores y bellas mariposas, son partes de una fauna única en el país por lo que sus bosques son una importante reserva natural. La población a finales del año 2014 era de 75 202 habitantes, que lo sitúa en el cuarto lugar dentro de la provincia, con una densidad poblacional de 98,1 habitantes por kilómetro cuadrado, el sexto lugar a nivel provincial en este indicador. El grado de urbanización es el 83,6 por ciento, el tercero después de Holguín y Antilla. Por sexo el índice de masculinidad es de 988 por mil hembras. Tiene una tasa de crecimiento anual de -0,1 por mil habitantes.

Sus dos fábricas de níquel son la principal riqueza económica con un importante aporte al PIB de Cuba siendo uno de los primeros productores del mundo. Sus fábricas: Ernesto Che Guevara y Pedro Sotillo Alba lideran la producción metalúrgica.

1.1.7 Desarrollo económico de la región

La base económica fundamental depende de la minería. En los inicios de la revolución esta actividad fue sabotada por el imperialismo pero la labor del ingeniero cubano Demetrio Presilla López dio al traste con estas maniobras y logró hacer funcionar la industria niquelífera. Luego el estado cubano apoyado por el antiguo campo socialista llevó a cabo un gigantesco plan de inversiones que consistía en la construcción de otras dos plantas procesadores de Níquel, de ellas se terminó una, además de la industria mecánica de apoyo a la minería para lo que se construyó una moderna fábrica con ese objetivo.

Se amplió por completo la superestructura de la industria incrementándose la capacidad del puerto y en general todo el sistema de transportación del mineral y otros productos vinculados al proceso industrial del Níquel. Se hicieron inversiones considerables en la industria del níquel. Como parte de esa modernización se instaló

un aeropuerto y se construyeron carreteras, se destacan entre ellas la que une a Moa con Baracoa y a Sagua de Tánamo.

Económicamente está dentro de las más industrializadas del país; cuenta con dos plantas procesadoras de menas de níquel actualmente en producción, la Empresa Comandante Ernesto "Che" Guevara y la Empresa Comandante Pedro Soto Alba, Moa Níquel SA, con capacidades de diseño original de 30000 y 24000 t de concentrado de Ni+Co al año respectivamente.

1.2 Características geológicas del territorio

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el paso del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos.

La faja Mayarí-Baracoa a su vez la divide en tres macizos: Mayarí-Cristal, Sierra del Convento y Moa-Baracoa, el área de estudio se encuentra en el Macizo Moa-Baracoa localizándose en el extremo oriental de la Faja Mayarí-Baracoa. Ocupando un área aproximada de 1 500 km² donde se presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, máfico y vulcano-sedimentario mientras que el complejo de diques de diabasas está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo. Se estima un espesor de aproximadamente 1000 metros para el complejo ultramáfico y 500 metros para el de gabros, mientras que para el complejo vulcano-sedimentario se ha estimado un espesor de 1200 metros.

Estas se describen según la información del esquema geológico del área de estudio, escala original 1:100 000 (IGP, 2001) (fig. 2).

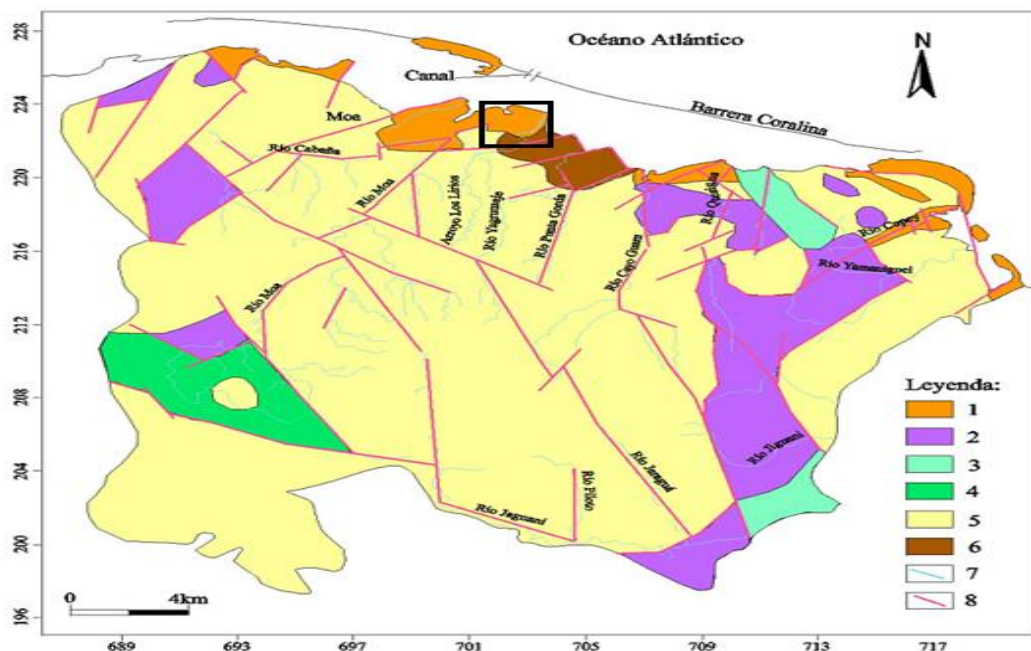


Figura 2. Esquema geológico del municipio Moa. Modificado de (IGP, 2001). Escala 1: 100 000

1.2.1 Estratigrafía

En 1989, F. Quinta en su tesis Doctoral, realiza la clasificación geológica regional según ocho asociaciones estructuro-formacionales. En la región aparecen cuatro, las cuales se mencionan a continuación:

1. (AEF) del Arco Insular Volcánico del Cretácico.
2. (AEF) del Complejo Ofiolítico.
3. (AEF) del Arco Insular Volcánico del Paleógeno.
4. (AEF) de la Neoplataforma.

Para la realización de la propuesta de su clasificación, se basó en la teoría que explica el origen y evolución de los arcos insulares, así como la formación de las plataformas, las etapas evolutivas y los conjuntos litológicos faciales típicos de cada estadio. A continuación, se realiza una descripción de las Asociaciones Estructuro-Formacionales (AEF) que se desarrollan en la región

- ## 1. AEF del Arco Insular Volcánico del Cretácico

En la región existe un amplio desarrollo de las secuencias volcánicas y vulcanógenas sedimentarias del Cretácico Inferior pre-Aptiano-Cretácico Superior indiferenciado.

Probablemente pre-Coniaciano. Estas secuencias compuestas por tobas de diferentes tipos, basaltos, basaltos-andesitas y otras rocas. Esta AEF está bien representada en la región por la Formación Santo Domingo.

- **AEF del Arco Insular Volcánico del Cretácico**

En la región existe un amplio desarrollo de las secuencias volcánicas y vulcanógenas-sedimentarias del Cretácico Inferior pre-Aptiano-Cretácico Superior indiferenciado. Estas secuencias compuestas por tobas de diferentes tipos, basaltos, basaltos-andesitas y otras rocas. Esta AEF está bien representada en la región por la Formación Santo Domingo.

Formación Santo Domingo:

Única representante del Arco Volcánico del Cretácico en el área, está constituida por tobas, lavas, conglomerados, aparición de pequeños pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluye además en esta formación las calizas pizarrosas bien estratificadas y muy plegadas de color grisáceo. Las tobas ocupan más del 50% de la formación, apareciendo en la parte superior preferentemente, siendo comunes las variedades ristolovitroclásticas y vitroclásticas. Las lavas aparecen en ocasiones con textura amigdaloidal, predominando las variedades porfidíticas, yaciendo en forma de mantos interestratificados casi concordantes con las tobas. A menudo, junto con las lavas se observan aglomerados de composición dacítica y andesítica, muy alterados. Se le asigna una edad Cretácico Aptiano-Turoniano.

- **AEF del Complejo Ofiolítico**

Las rocas que predominan son las ultramáficas que aparecen serpentinizadas en mayor o menor grado, asociadas a gabros y diabasas, que en su conjunto forman la Asociación Ofiolítica.

Los contactos observados con las estructuras circundantes son tectónicos. Estas estructuras son complicadas debido al clásico emplazamiento que presentan, estando afectadas por dislocaciones plicativas y disyuntivas.

En Cuba, así como en el resto del mundo las ofiolitas constituyen parte de la corteza oceánica y participan en el emplazamiento de las rocas ultramáficas en estado frío. Los complejos que se mencionan a continuación son representativos de las secuencias pertenecientes a la asociación ofiolítica. Las secuencias de la asociación ofiolítica se encuentran representadas por los siguientes complejos:

1. Complejo Ultramáfico.
2. Complejo Acumulativo Máfico.
3. Complejo de Diques paralelos o Diabasas.

Complejo Ultramáfico: composición heterogénea, con gran predominio de las harzburgitas y en menor grado dunitas; además se han descrito dunitas plagioclásticas, wherlitas, iherzolitas y piroxenitas (Guild, 1947; Ríos y Cobiella, 1984; Heredia y Terepin, 1984; Fonseca et al, 1989). Lo que estos autores denominan dunitas plagioclásticas pudieran considerarse troctolitas. La mayoría de los trabajos diferencian en el complejo ultramáfico niveles de acumulado. Proenza (1997), considera todas las rocas ultramáficas presentes como restos litosféricos de mantos, aunque según otros especialistas (Quintas y Rodríguez A.) consideran que solo corresponden al manto la zona de tectonitas, puesto que las rocas del complejo acumulativo, pertenecen a la corteza. En el área las harzburgitas son las rocas dentro de la Asociación Ofiolítica, mayormente distribuidas, cubiertas por una potente corteza laterítica, todas estas rocas poseen diferente grado de serpentinización.

Complejo Máfico: está representado de abajo hacia arriba por troctolitas, gabros olivínicos, noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías.

Los cuerpos de gabroides tienen una estructura en forma de grandes bloques, aunque en la mayoría de los casos los cuerpos están incluidos en el complejo ultramáfico. En el complejo Moa-Baracoa están representados dos tipos de gabros: bandeados y masivos, en la parte alta, a los que se asocian cromitas y otros tipos de mineralizaciones dispersas.

- **AEF del Arco Insular Volcánico del Paleógeno**

Está representada en los flancos septentrionales y meridionales de la Sierra Cristal; así como en la cuenca de Sagua de Tánamo y otras áreas donde aparece la formación que a continuación se describe.

Formación Sabaneta

Perteneciente a la AEF del Arco de Isla Volcánico del Paleógeno (Neo arco), Sub-AEF de Retroarco, la misma está constituida por rocas vulcanógenas- sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas o montmorillonitizadas, con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, argilitas, margas, silicitas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos, ocasionalmente con pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito-basaltos y andesito-dacitas, así como tobas cloritizadas. Las tobas son vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, en menor grado bentonitizadas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación, como se observa en Farallones de Moa, puede destacarse además que la estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional.

- **AEF de la Neoplataforma**

Está constituida por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas sobre las rocas terrígenas, depositadas en régimen de plataforma continental, aparece representado en la región por la formación Majimiana que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por yacencia monoclinal suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones jóvenes.

Formación Majimiana

Está constituida por calizas órgano-detríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de la misma experimentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, contiene una abundante

fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asociar su edad al Oligoceno Superior hasta el Mioceno.

1.2.2 Tectónica

La tectónica de la región es compleja, se pone de manifiesto la superposición de fenómenos tectónicos originados en condiciones geodinámicas contrastantes y en diferentes períodos, así el sistema de mantos tectónicos y el intenso plegamiento que caracterizan la estructura geológica de las secuencias más antiguas surgieron en un ambiente de compresión máxima.

En contraposición a esto los eventos tectónicos más jóvenes surgieron en lo fundamental, bajo la acción de esfuerzos de tracción de la corteza terrestre, estos esfuerzos han originado sistemas de fallas que dividieron la zona en una serie de bloques horsticos y gravens que enmascararon las estructuras más antiguas. Por otra parte los movimientos de traslación horizontal que provocan el desplazamiento de los mantos tectónicos de Cuba Oriental fueron de gran magnitud, principalmente para las serpentinas que forman una unidad alcotana.

Las dislocaciones de plegamiento que presenta la región son sumamente complejas (fig. 3). En la secuencia más antigua se hace difícil el desciframiento de las meso-estructuras plegadas dada la monotonía litológica que presenta, no obstante, los estudios realizados permiten afirmar que en las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y vulcanógenas) existen tres direcciones principales de plegamiento:

1. Noreste - Sureste.
2. Noroeste - Sureste.
3. Norte - Sur.

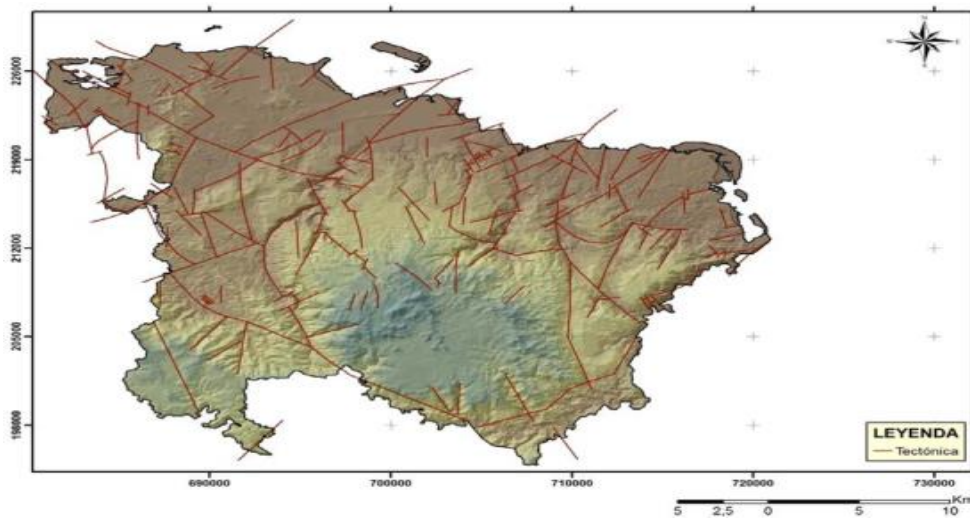


Figura 3. Mapa tectónico de Moa. Escala original 1:50 000, (tomado de Rodríguez, 1998).

Principales sistemas de fallas del territorio

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido y fueron cartografiados cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica (Rodríguez, 1998). Las fallas más representativas por sistemas son.

El primer sistema y más antiguo de la región el cual se encuentra pasivo las fallas de este sistema son: Falla El Liria y Falla Caimanes Abajo.

El segundo sistema se encuentra activo y en él se encuentran las siguientes fallas:

Falla Los Indios; En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman.

Falla Cayo Guam; Con una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

Falla Moa; Es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, Haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional

tiene un rumbo N25°W.

Falla Miraflores; Se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E.

Falla Cabaña; Orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova tomando una orientación N56°E.

Falla Quesigua; Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W.

Falla Maguey; Asume un rumbo N65°E por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

En el tercer sistema al igual que el segundo activo se encuentran las fallas:

Falla Cananova; Presenta rumbo predominante N53°W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta.

Falla El Medio; Con un rumbo aproximado de N40°E. Al igual que la Falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo.

Cuanto sistema el cual también está activo las fallas más reconocidas son; Falla Cupey, Falla Arroyón (fig 4).

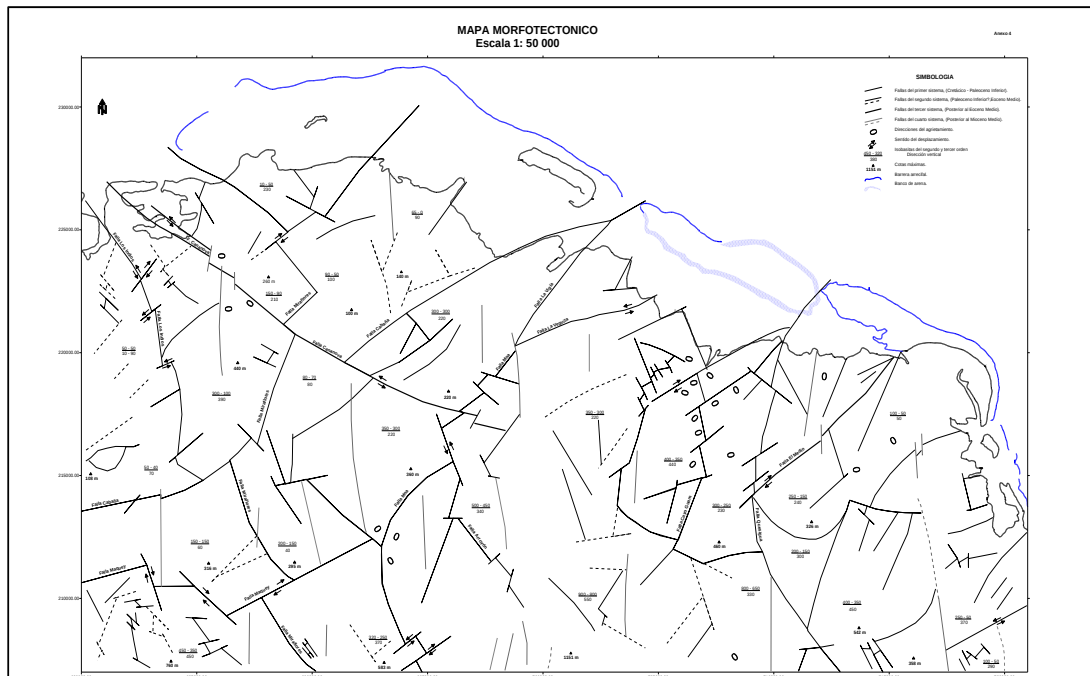


Figura 4. Mapa morfotectónico del territorio de Moa (Rodríguez A. 1999).

1.2.3 Magmatismo

El magmatismo en la región está ampliamente desarrollado, siendo las rocas ultrabásicas el máximo exponente predominando las harzburgitas y de forma subordinada las dunitas, iherzolitas y piroxenitas con diferentes intensidades de serpentinización todas ellas en su conjunto constituyen un enorme manto tectónico, generalmente en las proximidades de los contactos de las serpentinas con la roca subyacente aparecen bloques exóticos de metamorfitas. Dentro del macizo ultramáfico, constituyendo grandes bloques tectónicos, se encuentran incluidos bloques de gabros normales, olivínicos y gabro diabasas que en ocasiones aparecen anfibolitizados. Con frecuencia se puede encontrar una amplia gama de rocas magmáticas en las secuencias vulcanógenas-sedimentarias del Paleoceno al Eoceno Medio, donde predominan las rocas piroclásticas.

En general, se plantea que las rocas magmáticas de la región aparecen en dos grandes grupos. El primero lo constituyen las rocas que conforman la asociación

ofiolítica y el segundo, las rocas pertenecientes al arco insular volcánico del Cretácico, representado por la Formación Santo Domingo.

1.2.4 Características geomorfológicas.

Genéticamente el relieve de Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados (Rodríguez, 1998), en su estudio morfotectónico de la región clasificó el territorio en dos zonas geomorfológicas fundamentales.

Zona de Llanuras; Se desarrolla en toda la parte norte del área ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110 m de altura hacia el sur, originadas por la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos entre los que predominan los fluviales y marinos. Entre los tipos de llanuras se encuentran las fluviales, marinas y palustres parálidas.

Zona de Montañas; Es la zona geomorfológica más extendida dentro del área de las investigaciones, ocupando toda la parte sur y central. Los valores morfométricos, así como la configuración de las elevaciones son extremadamente variables en dependencia de las características litológicas y del agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrolla, así como del nivel hipsométrico que ocupan. Teniendo en cuenta esos parámetros el relieve de montaña fue clasificado en cuatro subtipos: premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas, submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas, montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas y montañas bajas diseccionadas.

1.3 Caracterización del área de estudio

Ubicación geográfica de la región de estudio

Afloramiento N°1. Nuevo sector de Centeno

Según el informe de EXPLOMAT del año 2002 el área de estudio se ubica próximamente a la granja de Centeno, en la cercanía de la cuenca del río Cabaña, a

2.75 km del Tejar en sentido de la carretera Moa - Sagua. Limita al sur, al este y al oeste con un arroyo y con el río Cabaña y al norte con una finca particular.

X1: 689 950 Y1: 220 750

X2: 690 500 Y2: 221 080

Perteneciente a la hoja cartográfica 5177-I "Sagua de Tánamo a escala 1:50 000 del I.C.G.C (fig. 5).

En este sector se delimitaron bloques de recursos, el 11 Mp3 en categoría de Recursos Medidos y el III p3 en categoría de Recursos Indicados.

Bloque 11 Mp3 (Recursos Medidos): está conformado por todos los pozos perforados en este sector, delimitado por los pozos positivos, los cuales se encuentran a una distancia aproximadamente de 100 m.

Este bloque está caracterizado por los siguientes parámetros: 22.52 % de plasticidad, 0.93 % de CaCO_3 , macrogranulometría (% retenido) por los tamices 5.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm, 0.053 mm y <0.053 mm de 1.15 %, 1.62 %, 1.13 %, 0.8 %, 4.69 % y 90.21 % respectivamente.

Presenta un área de 59 431.0 m² una, una potencia promedio de cubierta de 0.24 m, de útil 4.53 m y no presenta intercalaciones estériles, obteniéndose un volumen de cubierta de 14 263.44 m³ de útil.

Bloque IIIp3 (recursos Indicados): Es el resultado de la extrapolación a ¼ de la red (100 x 100 m) por fuera de los pozos positivos

Este bloque está caracterizado por los siguientes parámetros: 22.18 % de plasticidad, 0.88 % de CaCO_3 , macrogranulometría (% retenido) por los tamices 5.0 mm, 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm, 0.053 mm y <0.053 mm de 1.99 %, 1.94 %, 1.29 %, 0.88 %, 4.69 % y 88.5 % respectivamente (tabla 4).

Presenta un área de 29 118.0 m², una potencia promedio de cubierta de 0.22 m, de útil 4.77 m y no presenta intercalaciones; obteniéndose un volumen de cubierta de 6 405.96 m³ y 138 892.86 m³ de útil. (EXPLOMAT,2002)

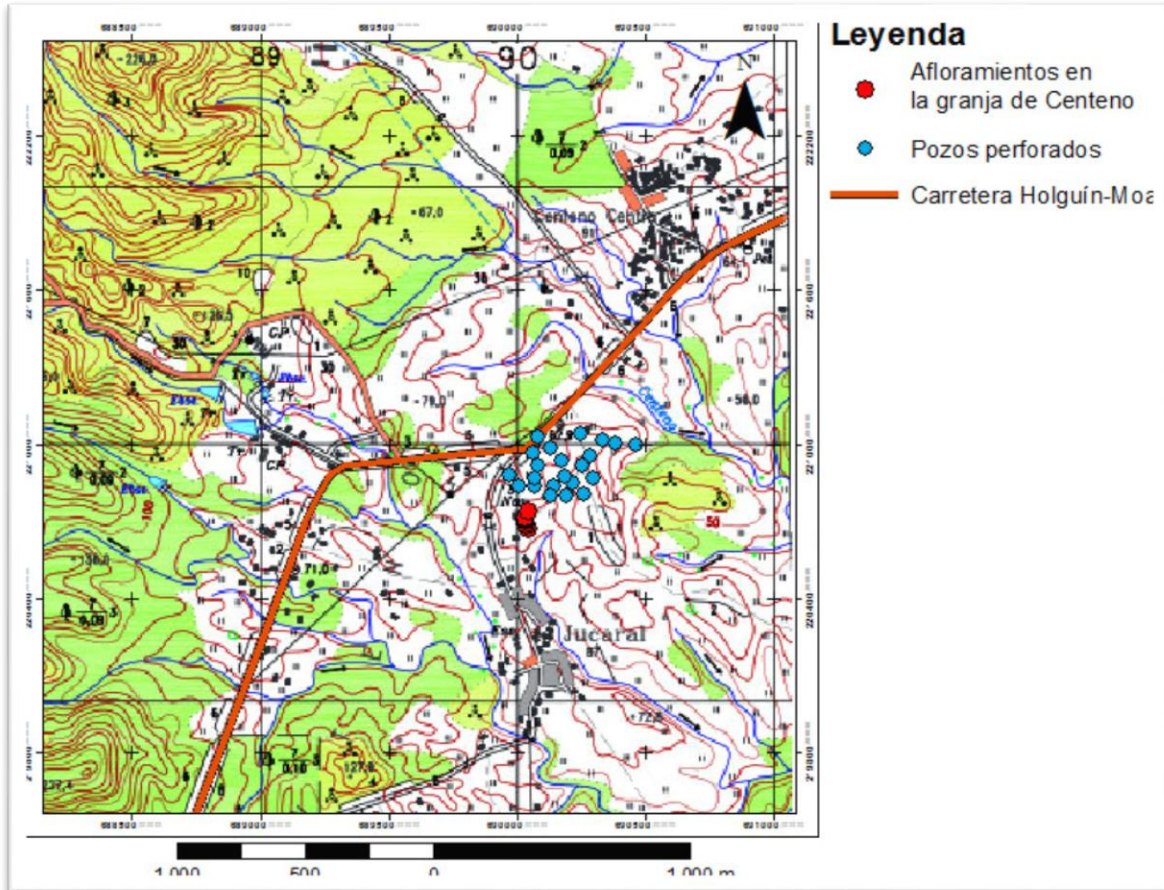


Figura 5. Esquema topográfico y de los trabajos realizados en el área de estudio.

Tabla 4. Composición Química de las arcillas rojas de la región de Centeno (M-1, Villa Figueiral, 2010; M-2, Fonseca, 2003).

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₂	PPI
M-1	31.65	28.87	13.86	0.50	-	-	0.18	0.31	17
M-2	35.65	29.50	10.25	0.55	2.0	-	0.18	0.28	-

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Introducción

La adecuada selección de los métodos y materiales merece una especial atención. De ahí que el objetivo de este capítulo sea describir los principales materiales a utilizar y los métodos empleados para la realización del trabajo.

En el presente capítulo se realiza una descripción detallada de la metodología empleada durante la evaluación de mezclas de materiales arcillosos de la zona de Centeno y tobas vítreas para su utilización en la industria de la cerámica roja (fig. 6). La investigación conllevó una metodología basada en 4 etapas de investigación, las que se sintetizan: una etapa preliminar, trabajos de campo, preparación y ensayos de las muestras, además de los trabajos de gabinete, las cuales son representadas en el siguiente esquema.

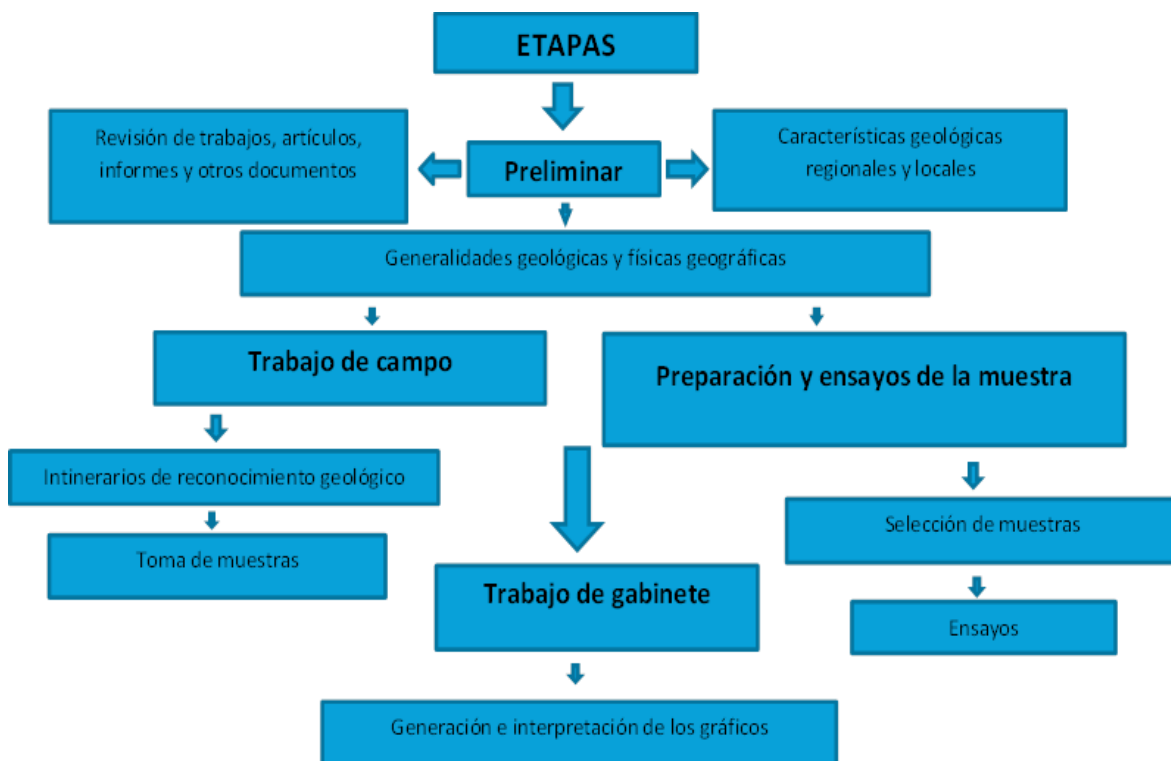


Figura 6. Esquema que resume la metodología de la investigación.

Esta metodología pone en evidencia varias etapas que contribuyeron de forma exitosa a la realización de este trabajo, las que se aprecian a continuación:

- **Etapas I: Preliminar.**
- **Etapas II: Trabajo de campo.**
- **Etapas III: Preparación y ensayo de las muestras.**
- **Etapas IV: Trabajo de gabinete.**

Etapas I: Preliminar

En esta etapa se realiza una búsqueda bibliográfica mediante la revisión de una serie de artículos científicos, trabajos de diploma, tesis de maestría, doctorados, ponencias de congresos y convenciones de ciencias de la tierra, entre otros documentos relacionados con la geología de Cuba oriental. Utilizando la base de datos del centro de información del ISMMM, así como información suministrada por el fondo geológico y sitios web de la INTERNET especializados en el tema, luego se procede a elaborar el marco teórico conceptual y el diseño de la investigación, definiendo el problema a resolver y la metodología a emplear para solucionarlo.

Etapas II: Trabajo de campo

Esta segunda etapa corresponde al trabajo de campo. En ella se realizan visitas a las diferentes zonas de Centeno y al nuevo sector de dicha localidad, con el objetivo de analizar los materiales arcillosos. Además, se realizó un recorrido por las áreas donde se encuentran las mismas recopilándose la mayor información.

2.1 Toma de muestras

- **Toma y selección de las muestras de arcillas**

Se seleccionaron las muestras buscando una mayor representatividad de la materia prima en el corte, abarcando toda la regularidad de la mineralización y coloración del suelo. Para la toma de muestra se seleccionó un corte del afloramiento con el objetivo de obtener una muestra representativa a todo lo largo de los perfiles de meteorización. El tipo de muestreo empleado fue el muestreo por surcos, desde la base hasta la superficie, ya que a partir de este tipo de muestreo se abarca toda la potencia del afloramiento.

Etapas III: Preparación y ensayo de las muestras

En este caso se llevó a cabo la selección y preparación de las muestras. Una vez colectada en el yacimiento, la materia prima, esta fue mezclada, homogeneizada y sometida a una primera inspección. Por último, se sometieron a una limpieza preliminar con el objetivo de eliminar restos de materia orgánica, perdigones y algunos que otros materiales propios del depósito.

Materiales a utilizar en la investigación

- Material arcilloso del nuevo sector de Centeno.
- Tobas vítreas

Preparación de las muestras para la fabricación de cerámica

Difracción de rayos x

La Difracción de rayos x permite saber cuáles de varios posibles compuestos cristalinos existen en la muestra. Tiene múltiples y varias aplicaciones en campos diversos como la física, la química, la ciencia de los materiales, la mineralogía, la geología, la metalurgia extractiva, metalurgia física, cerámicas, polímeros, farmacia, etc.

El análisis mineralógico se realizó por el método de Difracción de rayos x (DRX), se les realizaron análisis a dos muestras con un peso de 15 g, en el Centro de Investigación del Níquel; CEDINIQ (fig. 7). Este método permite además estimar semicuantitativamente la abundancia de los minerales asociados en la muestra. Las mediciones se realizaron en el difractómetro de rayos X'Pert³ Powder.

La técnica consiste básicamente en hacer incidir un haz de rayos x, de radiación monocromática sobre la muestra de roca finamente pulverizada, la cual se extiende por la superficie de un vidrio porta, usando una pequeña cantidad de aglomerante adhesivo. El instrumento está construido de tal manera que cuando se sitúa en

posición, gira sobre un brazo hasta registrar los rayos x reflejados. Las variaciones de intensidad en los rayos reflejados se obtienen gráficamente en un registro denominado difractograma en el cual se ven manifestados los diferentes picos de reflexión provenientes de la muestra. Las alturas de los mismos son directamente proporcionales a las intensidades de las reflexiones que las provocaron.



Figura 7. Imagen del difractómetro modelo X'Pert³ Powder

La preparación de las muestras para las dosificaciones de arcillas se realiza por un proceso de preparación mecánica para asegurar la calidad del producto final. Para ello, se ha utilizado una secuencia de procesos los cuales se muestran a continuación:

- Molienda
- Depuración de la pasta
- Preparación de las mezclas para la conformación de las probetas
- Maduración y reposo
- Moldeado
- Secado
- Cocción

Molienda

Se realizó en un molino de bolas para que se lograra la reducción del material mineralizado a menos de 0,2 milímetros, (fig. 8). El material mineralizado que viene de la planta de trituración se le agrega agua y algunos reactivos, con la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terreros y la disolución de los nódulos para

impedir las aglomeraciones de las partículas arcillosas favoreciendo la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material.



Figura 8. Imagen molino de bolas

Depuración de la pasta

Las arcillas antes de ser modeladas, deberían someterse a diversos procesos de depuración encaminados a reducir la cantidad de elementos extraños (rocas de mayor tamaño que el material) que se encontraban en la pasta tras su extracción.

El sistema de depuración de las arcillas que se utilizó fue la depuración por la acción de los agentes naturales y el filtrado en agua.

Preparación de las mezclas

Las mezclas se prepararon con las dosificaciones correspondientes para confeccionar las muestras, las mismas se realizaron en peso. Los materiales son añadidos en un recipiente donde se le agrega agua, luego se homogeniza hasta formar una pasta compacta y fácil de trabajar, se vierte en los moldes para la conformación de las probetas. (Tabla 5).

Tabla 5. Mezclas de arcillas para analizar

Muestras	M-1	M-2
Arcilla del nuevo sector de Centeno	100% de Arcilla del nuevo sector	90% de arcilla con un 10% de tobas vítreas

Maduración y reposo

Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción, hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogenización, tamizado y reposo, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.

El reposo tiene en primer lugar, la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de las partículas arcillosas (fig. 9). Favorece, además, la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente, y permite la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte y poco dado a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.



Figura 9. Imagen de piscina empleada para la maduración del material

Moldeado

El moldeado consiste en obtener una masa más compacta vertiendo la mezcla en los moldes, se puede utilizar las manos u otros equipos para realizar un trabajo de apisonado evitando se formen cavidades que provoquen futuras rupturas, debe de obtenerse una humedad más uniforme y una masa más compacta para lograr igualdad en las superficies de las muestras (fig.10). Este proceso se realizó mediante diferentes tipos de moldes utilizado en la Empresa de Industrias Locales.



Figura 10. Imagen moldeado del material

El secado

Es una de las fases más delicadas del proceso de producción. De esta etapa depende, en gran parte, el buen resultado y calidad del material. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado, de esta manera, poder pasar a la fase de cocción. Este se realizó al aire libre durante quince días.

Cocción

Durante este proceso se producen profundos cambios en la arcilla. El primero es la terminación de su secado, el cual debe efectuarse lentamente de lo contrario la formación de vapor en la pasta puede provocar su estallido.

El siguiente cambio ocurre aproximadamente a 140 °C, cuando el agua combinada químicamente comienza a eliminarse. A partir de los 500 °C estará completamente deshidratada y la pieza no se ablanda ni se desintegra en el agua perdiendo su plasticidad.

La cocción se realiza en un horno eléctrico, donde se aumenta gradualmente la temperatura hasta alcanzar 800 °C, y se mantuvo esta temperatura por 1 h, produciendo la sinterización (fig. 11). Por lo tanto, se puede decir que este es un proceso crucial en la producción, de mucho cuidado y control, ya que de este depende la calidad del producto final.



Figura 11. Imagen del horno donde se realiza la cocción

2.1.2 Metodología para la realización de los ensayos.

Una vez obtenido el producto final, en este caso el ladrillo ya que para la fabricación de la cerámica artística no se realiza estos procedimientos, se procede a la determinación de las propiedades físico-mecánicas a partir de diferentes métodos, los cuales se muestran a continuación en la figura 12.

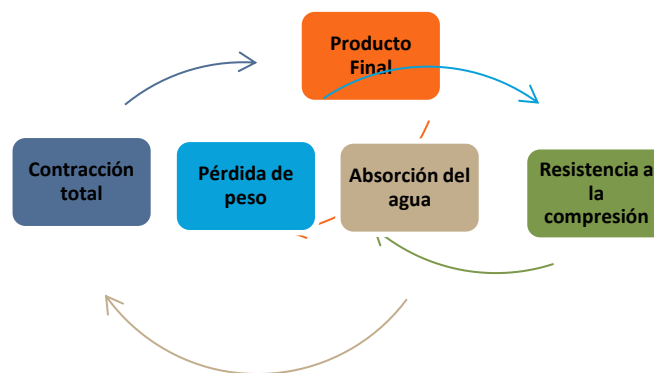


Figura 12. Esquema de la metodología para la realización de los ensayos

Contracción total

La contracción total se determina en muestras sometidas a distintas temperaturas. Esto da una idea de la cohesión progresiva de la arcilla con el avance de la temperatura. Sin embargo, en la investigación se analizó este parámetro a temperatura constante, debido al interés solamente de analizar la influencia de las diferentes dosificaciones de las mezclas elaboradas.

1. Se confeccionó una masa de arcilla bien amasada, de una consistencia promedio para moldear, hacer un cierto número de ladrillos con las dimensiones correspondientes.
2. Se dejaron secar las probetas, volteándolas frecuentemente para evitar la deformación.
3. Se cocieron los ladrillos a la temperatura establecida (800 °C).
4. Se midió la longitud de los ladrillos cocidos.
5. Se calcula la contracción total por la ecuación (1)

$$\text{Contracción lineal} = 100 \frac{LP - LC}{LP} (\%)$$

Dónde:

LP----- Longitud en plástico (cm)

LC----- Longitud después de cocida (cm)

Ensayo de pérdida de peso

Para la realización de este ensayo se pesaron las muestras una vez concluido el proceso de secado natural, luego de la cocción se pesaron nuevamente para obtener de esta manera el % de pérdida de peso a partir de la ecuación (2).

$$\text{Pérdida de peso} = 100 \frac{\text{PS} - \text{PC}}{\text{PC}} \quad (\%)$$

Dónde: PS-----Peso en seco (g), PC----- Peso cocido (g)

Ensayo de absorción de agua de las mezclas cocidas: El grado de absorción de agua es una medida de la maduración de la mezcla de arcilla cocida, en este caso con adición de tobas vítreas. A medida que la mezcla de arcilla se acerca a la vitrificación su absorción se acerca a cero, este ensayo se realiza con el objetivo de determinar la capacidad de absorción de agua del elemento. Este parámetro fue determinado mediante los siguientes pasos:

1. Se pesaron cuidadosamente los ladrillos cocidos.
2. Luego fueron introducidos en un recipiente con agua durante 24 horas.
3. Una vez transcurridas las 24 h se secó la superficie de los ladrillos con una toalla y se pesó nuevamente.
4. Luego se procedió al cálculo del % de absorción de agua utilizando la ecuación (3).

$$\text{Absorción de agua} = 100 \frac{\text{PS} - \text{PH}}{\text{PS}} \quad (\%)$$

Dónde: PS----- Peso seco (g), PH----- Peso saturado (g)

Ensayo de resistencia a la compresión:

En este ensayo se somete cada elemento que constituye la muestra del ensayo a una carga de compresión perpendicular a las caras mayores del mismo y se determina la carga en el momento de ruptura.

Medir el área de las probetas

1. Ubicar la probeta en el equipo

Asegurarse de que está bien ubicada para evitar valores erróneos

2. Calcular la resistencia por la siguiente ecuación 4:

Resistencia a la compresión = $\frac{F_i}{A_i} \times f \text{ (MPa)}$ Dónde: F_i -----Carga de rotura del elemento (kgf), A_i -----Área de la cara del ladrillo expuesta a la carga (cm²), f -----factor de conversión de kgf/cm² a MPa—10.197

Nota: Si la máquina de ensayos a la compresión indicara la carga F_i en N entonces se utiliza la ecuación siguiente:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{F_i \times 100}{A_i} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (4)$$

En este ensayo, las muestras que son sometidas a carga tienen forma cercana a la cúbica y una relación entre largo, ancho y alto bastante similar. A cada una de las muestras, una vez preparadas, se le aplico el ensayo de Resistencia mecánica a la compresión utilizando el martillo de Schmiht Hammer (fig.13) adquirido recientemente por el crédito chino en el ISMM.

El equipo referido ofrece los resultados directamente en Mega pascal.



Figura 13. Imagen del esclerómetro

2.2 Trabajos de gabinete

Mediante esta etapa se realiza la confección de tablas y gráficos para interpretar los resultados y dar cumplimiento al objeto de estudio de la investigación.

Equipos empleados en la investigación: Para la realización de esta investigación fueron utilizados diferentes equipos tales como molino español para triturar las muestras de tobas, horno criollo, pesa en (g) para saber el peso seco y cocido de los ladrillos, esclerómetro para conocer la resistencia de los ladrillos.

CAPITULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Introducción: En este capítulo se refleja una vez realizado los ensayos para la confección de este trabajo, se exponen los resultados obtenidos de los análisis químicos de las arcillas al 100% y mezcladas con 10% de tobas vítreas en cuanto a la, plasticidad, granulometría y además los resultados de las características físicos-mecánicas de las mezclas estudiadas para la fabricación de los ladrillos. (fig. 14, 15, 16,17).

3.1 Resultados de los análisis difractométrico de la arcilla sin calcinar y calcinada de la nueva área de estudio de la región de Centeno.

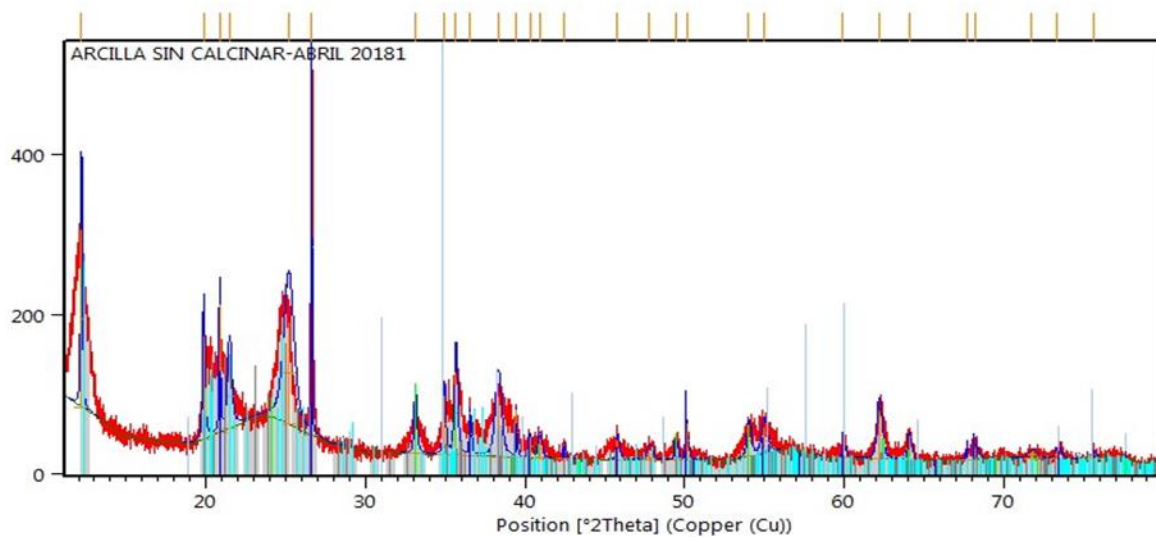


Figura14.Gráfico de análisis del registro por DRX de la arcilla

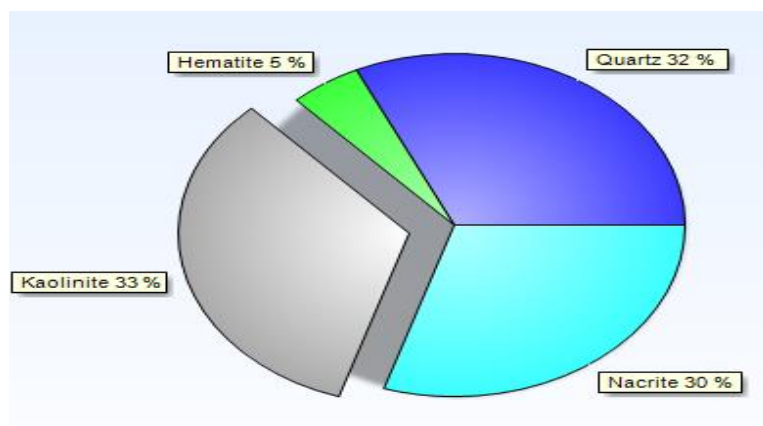


Figura 15. Gráfico de Cuantificación difractométrica a la arcilla

Los máximos difractométricos se le asignaron al Cuarzo (SiO_2) y se obtuvieron los siguientes valores (4.25-3.34-1.81-1.54), a la hematita (Fe_2O_3) (2.69-2.51-1.83-1.69) y a la (caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$)- nacrita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$) (7.13-4.35-4.18-4.12-3.56-3.36) sin poderse hacer mayores distinciones sobre la fase que predomina.

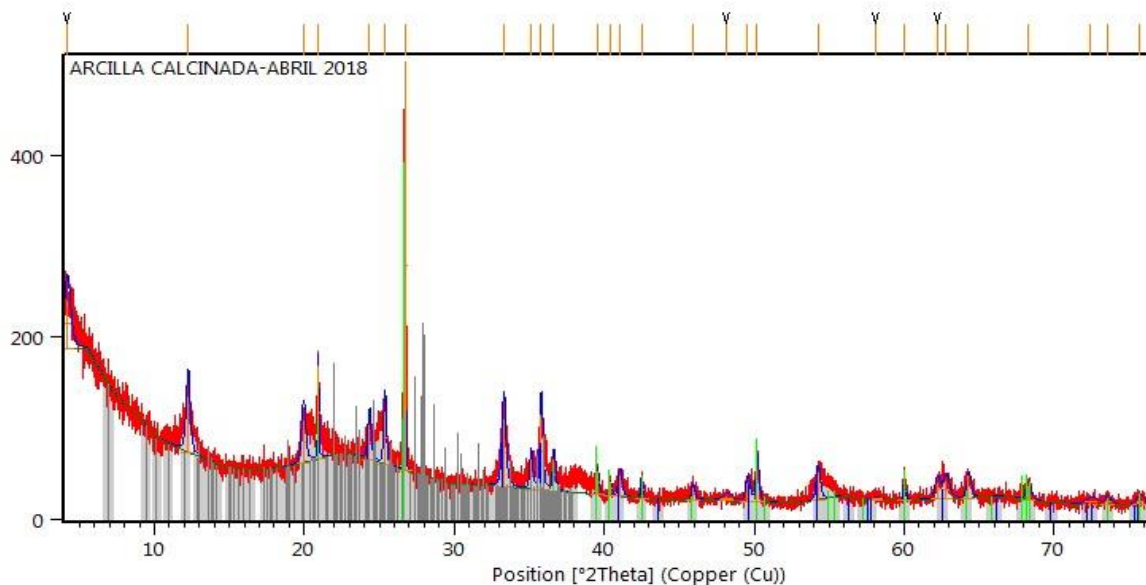


Figura 16. Gráfico de análisis del registro por DRX de la arcilla calcinada

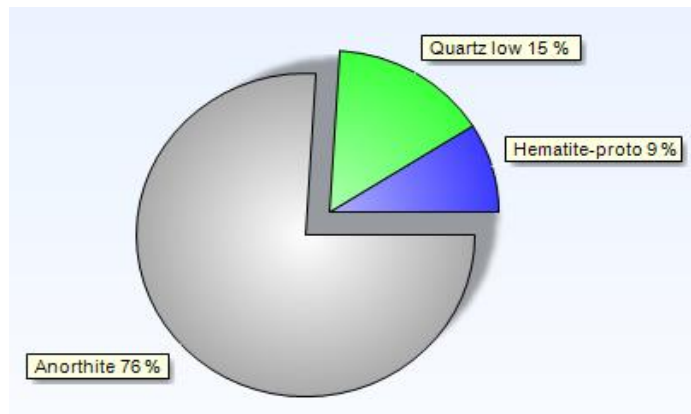


Figura 17. Gráfico de cuantificación difractométrica a la arcilla calcinada

Los máximos difractométricos que se le asignaron al cuarzo (SiO_2) son de (4.25-3.34-1.81-1.54), se asume la presencia de anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) debido a la existencia de reflejo de menor intensidad. Esto se puede asumir ya que en el proceso de calcinación se generó desorden estructural de las partículas mostrando anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) baja en cristalinidad, según (Poll-Legrá, 2015) (Rodríguez, 1984,1989,2001)) la anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) puede aparecer alrededor de los 900°C no descartando que el proceso empiece antes, además se encuentran máximos difractométricos para la hematita (Fe_2O_3) y son (2.69-2.51-1.83-1.69), esto se interpreta que durante el proceso térmico la caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ - y la nacrita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) de la muestra sin calcinar pierden los grupos OH o sea se deshidroxilan y pasan a formar metacaolín ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$).

3.1.1 Análisis de los resultados de pérdida de peso

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios ya que en relación a esta propiedad se comprueba que las mezclas con adición del 10% de tobas vítreas pierden mayor peso antes de ser cocidos y luego de ser cocidos en proporción a su incremento de este producto, mientras que los morteros con el 100% de arcillas pierden en minoría su peso (Tablas 6, 7 y 8). Esta propiedad es importante pues los ladrillos con adición de tobas resultarían más ligeros y de mayor facilidad de colocación, a la vez que incrementan las propiedades de mayor aislamiento térmico y acústico. Por otra parte, disminuye el peso de esa estructura (fig. 18).

Tabla 6. Peso inicial del mortero

Muestras	M-1.100% de arcilla	M-2.Arcilla con 10% de tobas vítreas
Peso(g)	3548	3456

Tabla 7. Peso después de la cocción

Muestras	M-1	M-2
Peso(g)	2988	2754

Tabla 8. Por ciento de la pérdida de peso final del ladrillo

Muestras	M-1	M-2
% de pérdida de peso	18,3	25,4

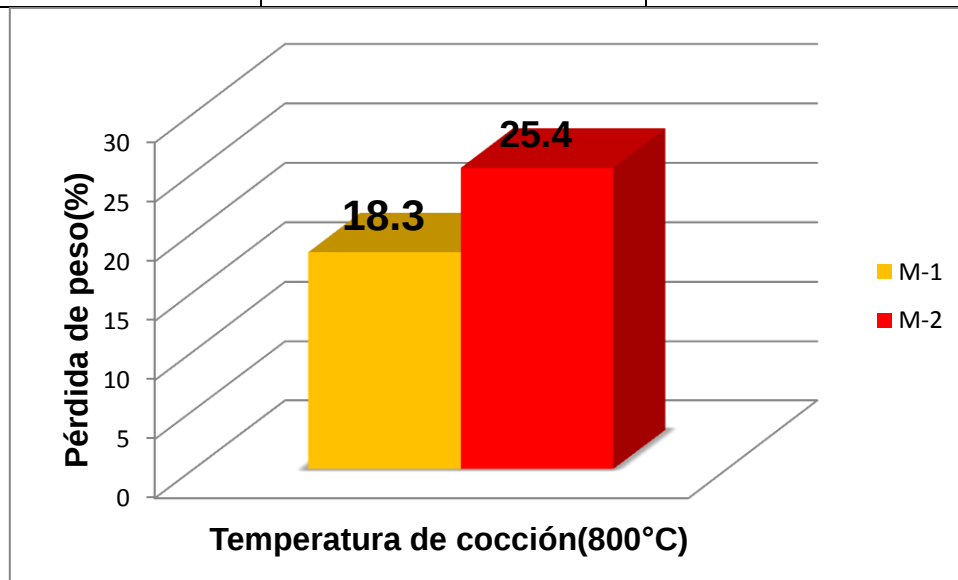


Figura 18. Gráfico de pérdida de peso

3.1.2 Análisis de los resultados de la contracción total del ladrillo

La contracción es un parámetro muy importante ya que es una consecuencia del secado y el horneado de las piezas, por lo que se requiere que estos procesos sean controlados y se realicen con el mayor cuidado. El secado de las piezas debe ser uniforme, de lo contrario puede provocar diferencias en el modo de contraerse cada una de ellas, así como agrietamiento y ruptura de las mismas. Para el análisis de este parámetro se han tenido en cuenta los datos que se muestran en las (tablas 9,

10,11, 12,)), los porcentajes de contracción lineal se determinaron aplicando la ecuación (1).

El parámetro tecnológico Contracción Total del ladrillo da una medida de la unión de las partículas después de cocidas las muestras. La evaluación de este parámetro es de vital importancia debido a que, mediante su control, se puede tener una medida de lo que se contrae el ladrillo desde que se saca del molde hasta que se extrae del horno.

Tabla 9. Medida del mortero antes del secado natural. Longitud (cm)

Muestras	M-1	M-2
Longitud	23	23

Tabla 10. Resultado del análisis de la contracción al secado natural (CSN). Longitud (cm)

Muestras	M-1	M-2
CSN	22	22,5

Tabla 11. Contracción después de la cocción (CDC). Longitud (cm).

Muestras	M-1	M-2
CDC	20,3	21,2

Tabla 12. Resultado del porcentaje de la contracción lineal.

Muestras	M-1	M-2
CL%	7,72	5,77

Después de obtenerse los porcentajes de la contracción lineal para cada una de las mezclas analizadas se han graficado los datos, los cuales se encuentran representados (fig. 19). La mezcla M-1 compuesta por un 100% de arcilla presenta

los mayores porcentajes de contracción lineal, representado por un valor de estos atribuidos al mayor contenido de arcilla, lo que ha permitido que a medida que la muestra se va secando las partículas de arcilla se acercan más entre sí, o sea se compactan mejor, liberando el espacio ocupado por el agua. La mezcla M-2 presenta 10% de tobas vítreas, siendo esta la razón por la que se contrae en menor proporción, ya que esta no presenta la misma capacidad de absorción que la arcilla. De manera general los valores obtenidos, se encuentran dentro del rango permisible por las normas para productos cerámicos, donde la contracción para arcillas plástica es menor del 6 %.

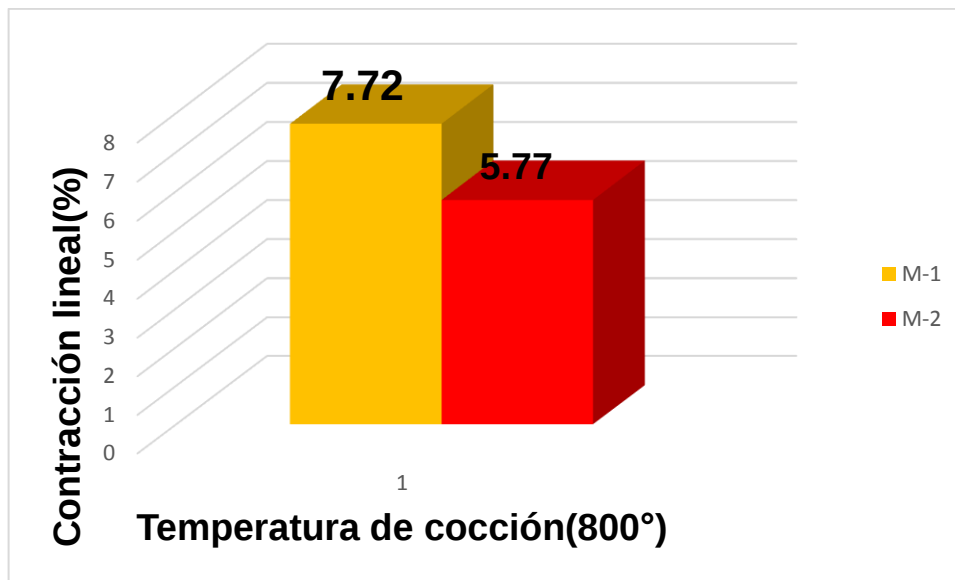


Figura 19. Gráfico de porcentajes de la contracción lineal en las mezclas evaluadas

3.1.3 Resultados de la absorción de agua.

Los resultados de los análisis de absorción de agua que se obtuvieron se muestran en las (tablas 13,14 y 15), para cada una de las muestras después de la cocción, como se puede observar en el (figura. 20) se representan los porcentajes logrados donde se indica que a mayor % de tobas vítreas en la mezcla se irá aumentando la absorción por un mayor volumen de poros. Además, para el análisis se compararon de los resultados según lo establecido en las normas cubanas (NC 360:2005) para ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Por tanto, se puede decir que la absorción de agua se encuentra por encima del rango permisible para productos cerámicos elaborados con 10 % de adición de toba vítrea a la arcilla, ya que las exigencias de

esta propiedad para los ladrillos cerámicos, está en el rango de absorción de agua de 8 a 18 %. La mezcla que más absorbe el agua es la M-2 compuesta por 90 % de arcilla y 10% de tobas vítreas, dado esto por la porosidad que le da a la muestra la toba empleada, lo que indica que, a mayor proporción de toba vítrea, mayor es la absorción de agua.

Tabla 13. Peso del mortero antes de entrar a la piscina

Muestras	M-1	M-2
Peso(g)	2785.3	2625.2

Tabla 14. Peso del mortero luego de 24 horas de estar en la piscina (g).

Muestras	M-1	M-2
Peso(g)	3145.7	3106

Tabla 15. Porcentaje de absorción del agua

Muestras	M-1	M-2
%	12,9	18,31

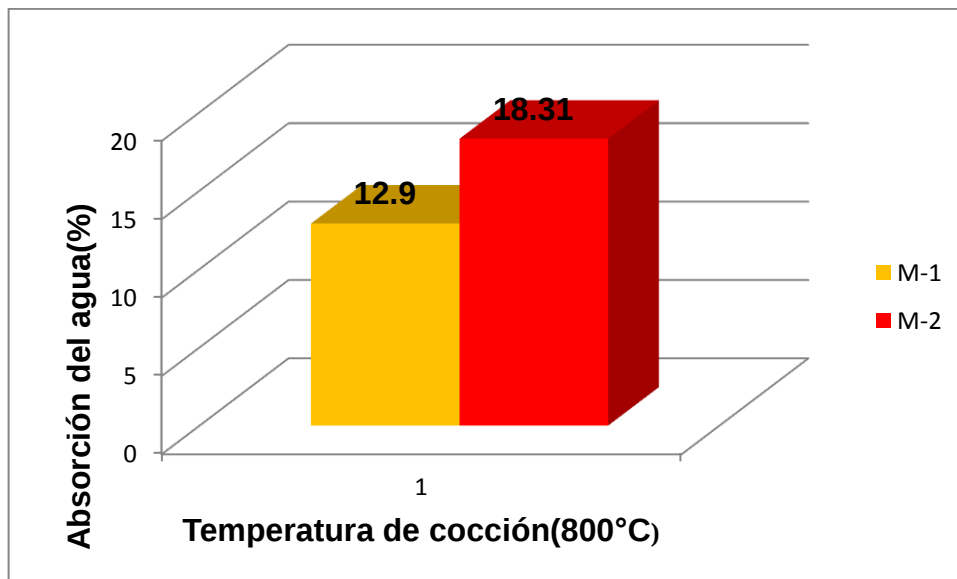


Figura 20. Gráfico de resultado del % de la absorción de agua en las mezclas evaluadas

3.1.4 Análisis de los resultados de resistencia a la compresión.

La resistencia mecánica determina la capacidad de los objetos cerámicos de resistir golpes y cargas sin sufrir roturas durante su uso y manipulación. Los datos obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión se representan en la (tabla 16), los cuales se obtuvieron a partir de la ecuación (5).

Los resultados obtenidos en esta etapa serán de gran importancia y casi determinantes en la Industria Cerámica roja. Se evidenciaron que los ladrillos mezclados con tobas vítreas son capaces de lograr resultados mejores de resistencia (fig. 21). Indico continuar el estudio de estas mezclas, una de las posibles causas de dichos resultados podría ser que las tobas realicen un efecto puzolánico contribuyendo a un efecto de vitrificación. Aclarar que no se debe cocer el ladrillo en los hornos que expulsen el vapor de agua, porque provocaría su estallido a temperaturas inferiores de los 400 °C

Comparando los resultados obtenidos con la exigencia establecida a los ladrillos cerámicos para la resistencia a la compresión, los ladrillos están en correspondencia con los de calidad.

Tabla 16.Resultados de la resistencia a la compresión (MPa).

Muestras	M-1	M-2
1	7,0	10,0
2	7,0	9,0
3	6,0	10,0
4	8,0	8,0
Promedio(MPa)	7,0	9,2

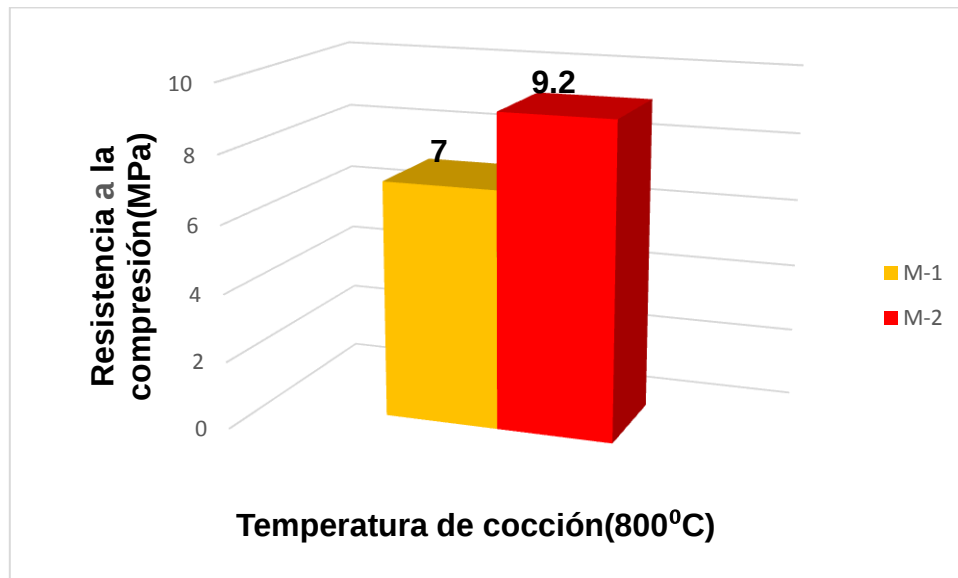


Figura 21. Gráfico de representación del % de la resistencia a la compresión de las mezclas evaluadas.

3.2 Impacto medio ambiental

El desarrollo de la industria cerámica roja en el municipio de Moa, requiere del estudio detallado de las grandes reservas de minerales arcillosos con que cuenta la región específicamente de Centeno, así como del análisis del impacto que provocaría su explotación al medio ambiente.

Debido a que esta materia prima se encuentra a poca profundidad de la superficie, debajo de la capa vegetal, su extracción se realiza a cielo abierto, y por vía seca, su impacto depende siempre de la extensión y la ubicación del terreno sobre todo lo que respecta a condiciones climáticas, regionales y de infraestructura. Se caracteriza por la producción de grandes volúmenes, con las canteras emplazadas cerca de las unidades de producción, lo que implica su ubicación cerca de los núcleos poblacionales, con los correspondientes efectos sobre ellos. Por lo tanto, se requiere un plan de minería que afecte lo menos posible a la población, puesto que la minería ocasiona daños a la vida del propio hombre, como la del ecosistema que esté ligado al propio yacimiento.

La fabricación de objetos cerámicos comprende las siguientes etapas:

- Extracción de la materia prima.

- Beneficio de las arcillas.
- Conformación y acabado del producto.

En la Ley No. 81 del Medio Ambiente del 11 de Julio de 1997 en su Título VI, capítulo V, sección primera (Suelos) y Capítulo VIII Recursos minerales, quedan establecidas todas las regulaciones que se deben observar en cuanto al medio ambiente durante la investigación, prospección y extracción de estos recursos.

Estos procesos de pérdida y degradación del suelo son originados por la falta de planificación y el descuido del hombre. Las causas más comunes de dichos procesos están relacionadas con la erosión que se corresponde al arrastre de las partículas y las formas de vida que conforman el suelo.

3.2.1 Problemas fundamentales que provoca la extracción al medio

- La erosión de los suelos.
- Destrucción de la flora y fauna del lugar.
- Emisiones de polvo a la atmósfera.
- Desestabilización de pendientes.

Para el mejor control del impacto ambiental provocado por la minería de las arcillas, es importante poner en práctica algunas medidas.

- Guardar la parte orgánica del suelo (humus) en forma apropiada para luego usarla en la fase de cierre y rehabilitación.
- Evitar los deslizamientos de pendientes a la hora de su extracción.
- Evitar la destrucción de la flora y la fauna en los lugares donde se va a extraer el material.
- Plantar árboles para evitar la erosión de los suelos y conserven su entorno.

La legislación ambiental cubana comprende una serie de regulaciones jurídicas ambientales de diferentes jerarquías: Leyes, Decretos - Leyes, Decretos, Resoluciones, Resoluciones Conjuntas, Acuerdos y Normas. El cumplimiento de las mismas tiene un carácter obligatorio para las personas; las actuaciones que por acción u omisión violen los preceptos que en ellas se establecen y ocasionen daños al medio ambiente conllevan a la aplicación de sanciones que pueden ser

procesadas por las vías civil o administrativa si no constituyen delito, o por la vía penal si son constitutivas de delito.

3.2.2 Medidas específicas según la actividad a realizar

Por las razones antes expuestas se hace necesario tener en cuenta una serie de medidas durante la explotación y cierre de las canteras con el fin de mantener un equilibrio en el Medio Ambiente circundante, dentro de las cuales se citan.

Movimiento de Tierra

Los operadores de maquinaria de movimiento de tierra y de manipulación de materiales deben haber alcanzado la edad mínima prescrita, gozar de buena salud y haber recibido la formación apropiada.

Los equipos utilizados en el movimiento de tierra estarán en condiciones técnicas adecuadas de acuerdo a sus parámetros de explotación, de forma tal que no provoquen incendios, accidentes, derrames de grasas, aceites y combustible, ni ocasionen ruidos excesivos.

El operador tendrá especial cuidado al realizar operaciones en marcha atrás, observando en todo momento que nadie permanezca ni transite por el lugar hacia donde se dirige el equipo.

Se disminuirá al máximo los movimientos de la maquinaria cuando existan condiciones de excesiva humedad en el terreno, minimizando así el deterioro del suelo.

Al afectar la cobertura del suelo durante los trabajos de movimiento de tierra, de existir capa fértil, esta debe ser retirada a un lugar seguro y de fácil conservación, evitando las mezclas con contaminantes y otros materiales.

En aquellos casos cuando la capa fértil no puede ser utilizada inmediatamente, esta será almacenada en pilas, cuya altura y forma excluirán la pérdida de la fertilidad a consecuencia de los procesos erosivos, de lixiviación y otros. La superficie de la pila y sus costados se mantendrá con hierbas u otras formas de protección.

3.2.3. Propuesta ambiental para la quema de productos ceramicos empleando el bloque solido combustible.

En el municipio de Moa existe experiencia desde hace décadas en la extracción, tratamiento y confección de los ladrillos de arcilla en el tejar de Centeno. La quema de estos ladrillos siempre se ha realizado con leña.

Actualmente existen estudios procedentes del Centro de Investigación de Estructuras y materiales (CIDEM) de la Universidad Central de Las Villas (González, 2004) sobre una nueva fuente de energía alternativa que puede ser empleada para la cocción de ladrillos en los hornos criollos y con ventajas por encima de la leña, el llamado bloque sólido combustible (BSC).

Este es un combustible alternativo desarrollado por el CIDEM, cuyo componente fundamental es cualquier tipo de biomasa: aserrín, bagazo y paja de caña de azúcar, hojas y ramas de árboles, en general, residuos de cosechas, prensados en máquinas manuales en forma de briquetas, con una adición de un 25 a un 30% de suelo arcilloso como aglomerante para su fácil manipulación. La razón fundamental del desarrollo de esta tecnología ha sido la sustitución, total o parcial de los combustibles fósiles, por otros obtenidos a partir de biomasa, siguiendo la técnica de densificación que facilita su manipulación y colocación en los hornos.

Se ha comprobado que su poder calorífico es similar al de la leña, con la ventaja de que al consumirse en el fuego su emisión de humo es menor. En quemas de ladrillos en hornos artesanales se ha combinado con leña, que se ha utilizado para el encendido del mismo y visualmente se ha verificado que mantiene la llama y la cocción de los ladrillos se realiza con temperaturas más estables(fig. 14).



Figura 14. Imagen del Bloque sólido combustible.

Ventajas prácticas de uso del BSC en sustitución de la leña:

- La quema de ladrillos con BSC permite rellenar zonas no cubiertas por la leña y se puede controlar mejor el fuego dentro del horno.
- El BSC posee una humedad interna menor que la leña usualmente utilizada por los horneros disminuyendo las pérdidas que necesariamente se producen para eliminar la humedad de la leña
- El BSC emite menos vapor de agua que la leña, se evita el olor a resina y la afectación en los ojos de los operarios.
- Con el BSC se hace menos esfuerzo físico que cuando se trabaja con leña.
- Cuando se quema con leña, se lanzan maderos, que si no se tiene cuidado pueden destruir los arcos del horno, y con el empleo del BSC esto no ocurre.

Actualmente el aserrío del municipio Moa genera aproximadamente un metro cúbico de aserrín diario, que se desecha completamente, por tanto, este es el que se pretende utilizar para la confección de los BSC.

CONCLUSIONES

Ya analizado los resultados obtenidos podemos concluir que:

1. Según los análisis difractométricos realizado a la arcilla del nuevo sector de Centeno se determinó que en las arcillas predomina la caolinita ($\text{Al}_2 \text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$), y el cuarzo (SiO_2).
2. Las arcillas del nuevo sector de Centeno presentan un índice de plasticidad de 22%, una potencia promedio de 4,53 m y un bajo contenido de carbonato de calcio 0,83%.
3. Se demuestra que es posible emplear mezclas de arcilla de la nueva área de Centeno con adición de tobas vítreas, ya que disminuyen el peso del producto final y le da una mayor resistencia al mismo. Estas producciones pueden realizarse en las Empresas de Industrias Locales y La ECOPP del municipio de Moa. Sé demostró que la dosificación de mejor resultado es la de 10 % de tobas vítreas y un 90 % de arcilla.
4. El área de estudio más favorable para la extracción del material arcilloso se encuentra a una distancia 2.75 Km del tejero de Centeno y buenas vías de acceso, con coordenadas x: 689 950 y: 220 750. La región presenta buenas condiciones para la explotación del material arcilloso, según sus condiciones minero técnicas.

RECOMENDACIONES

Valorar las propiedades físico-mecánicas con el implemento de mayores dosificaciones de tobas vítreas manteniendo la arcilla como material principal, para su utilización en la industria de cerámica roja.

Estudiar las propiedades físico-mecánicas de las mezclas a temperaturas inferiores de los 800 y superior a esta temperatura para valorar los resultados de estas mezclas.

Cumplir con el tiempo establecido para el secado natural al aire libre, de los productos cerámicos que comprende un período de 7 a 15 días, donde no intervenga la acción del hombre.

Si el horno utilizado para cocer el material no expulsa correctamente el vapor es necesario supervisar atentamente su proceso, ya que podría ocasionar su estallido.

BIBLIOGRAFÍA

- Batista-Rodríguez, J. A.-I. (1997). *Particularidades geológicas del complejo ofiolítico de Moa a partir de los datos aeromagnéticos*. Moa: Minería & Geología.
- Cabreja, L. Y. (2018). *Potencialidad del uso de las arcillas de centeno en moa para la producción del cemento de bajo carbono artesanal y bloques huecos de hormigón*. Holguín, Cuba: UHO.
- CEPRONIQUEL. (2002). *Miniproyecto Minero de Explotación Sectores Arcillas de Moa*. Moa, Holguín, Cuba.
- Cura, D. B. (s.f.). *Manual técnico de ladrillos*. Las Villas, Cuba: UCLV.
- Díaz, Y., & Betancourt, D. y. (2011). *la influencia de la finura del molido de Carbonato de Calcio en las propiedades físicas-mecánicas y de durabilidad de los ladrillos de cerámica roja*. Las Villas: Departamento de Ingeniería Civil.
- Dueñas Ruiz, D. &. (2011). *Componente Editor & Analizador SPL-SQL de karat*.
- Emilia García Romero, M. S. (s.f.). *Las arcillas: propiedades y usos*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid .
- Estadístico, O. A. (2015). La Habana, Cuba.
- EXPLOMAT. (2002). *Informe técnico topográfico arcilla Sagua de Tánamo*.
- Figueiral, S. R. (2010). *Valoración de mezclas de arcillas de la región de centeno para su utilización en la industria de materiales locales*. Moa, Holguín, Cuba: ISMMM.
- García, A. J. (2017). *Caracterización de la puzolánidad de las Tobas Zeolitizadas de Caimanes y Vítreas de Sagua de Tánamo para fabricar materiales de pequeño formato para la construcción*. Moa, Holguín, Cuba: ISMMM.

- Gómez, M. B. (2017). *Prospección de la arcilla para cerámica roja en centeno, Moa*. Moa, Holguín, Cuba : ISMMM.
- Iznaga, J. D. (2002). *La modelación descriptiva en el ejemplo de los yacimientos lateríticos de cuba oriental*. Moa, Holguín, Cuba: ISMMM.
- Jiménez, H. D. (2011). *Ciencias de la Tierra*. Moa: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.
- José Alberto Batista Rodriguez, A. R. (2000). *Particularidades geológicas del complejo ofiolítico de Moa a partir de los datos aeromagnéticos 1:50 000*. Moa, Holguín, Cuba: Revista Minería y Geología.
- Marabih, F. L. (2005). *Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guan*. Moa: ISMM.
- Méndez, D. A. (2010). *Caracterización mineralógica y tecnológica de materiales arcillosos de Moa para su empleo en la industria Local*. Moa, Holguín, Cuba: ISMMM.
- Moreira, M. C. (2015). *Evaluación de mezclas de materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica*. Moa, Holguín, Cuba: ISMMM.
- Navarro, D. E. (2003). *Evaluación de mezclas de arcilla de la región de centeno, Moa*. Moa, Holguín, Cuba: ISMMM.
- Osorio, L. A. (s.f.). *La minería artesanal de rocas y minerales industriales en función del desarrollo local sustentable en Cuba*. Moa, Holguín, Cuba: ISMMM.
- IGP,(2011). *Rocas y minerales industriales de la República de Cuba*. La Habana, Cuba.
- Poll-Legrá, L. A.-R.-D.-R. (2015). *Evaluación de la actividad puzolánica del material arcilloso del depósito La Delta*. Moa: Minería & Geología.

- Pons, L. y. (1995,1996). *Evaluación de mezclas arcillas con adición de tobas vítreas para la fabricación ladrillos cerámicos Bayamo*. Moa: Ciencia & Futuro.
- Ríos-Martínez, Y. &-R. (1984). *Estudio preliminar del Macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia Holguín*. Moa: Minería & Geología.
- Rodríguez, R. M.-M.-F.-M. (1984,1989,2001). *Petrología de las rocas plutónicas de afinidad ofiolítica presentes en la zona de Cayo Grande (Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa), Cuba Oriental*. Moa: Minería & Geología.
- Rvera, Y. B. (2011). *Evaluación de las mezclas de arcilla de la región de Centeno y arena sílice residual para su utilización en la industria de cerámica*. Moa: ISMMM.
- Salazar, D. T. (2015). *Evaluación de mezclas de arcilla de la zona de Cayo Guam para su utilización en la industria de la cerámica roja*. Moa, Holguín, Cuba: ISMMM.
- Samek. (1974). *La Vegetación presente en el territorio de Moa*. Moa.
- Sosa Díaz, J. A. (2011). *la Exploración adicional en la porción del Yacimiento Arcilla de Bayamo*. Moa: ISMMM.
- Ubaque, C. A. (2013). *Resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Viltres, Y. P. (2010). *Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Este del Municipio Moa*. ISMMM: Departamento de Geología.

ANEXOS

Anexo 1. Imágenes del afloramiento principal objeto de estudio.

Fuente: Elaboración propia.



Anexo 2. Imágenes de los equipos utilizados.

Molino de bolas



Proceso de homogenización de la arcilla



Modelado de la arcilla



Horno del laboratorio de metalurgia



Esclerómetro para medir la resistencia a la compresión del ladrillo

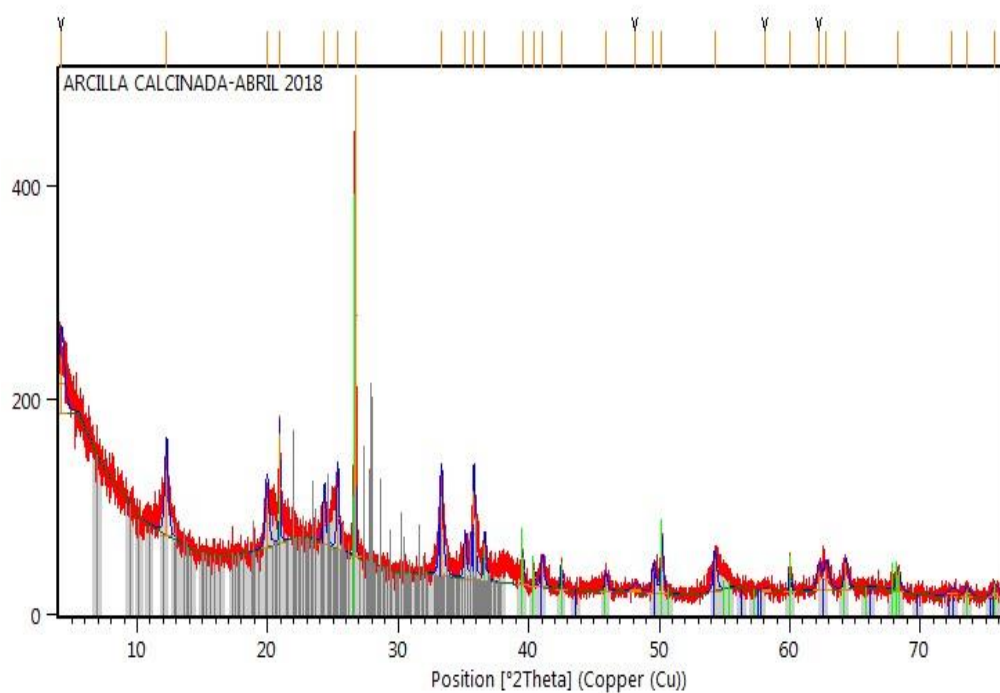


Ladrillo cocido con 10% de tobas vítreas



Anexo 3. Difractogramas de las muestras

Análisis difractométrico de la arcilla sin calcinar



Análisis difractométrico de la arcilla calcinada

