



Trabajo de diploma para Optar por el Título de Ingeniero Geólogo.

Título: Evaluación de los residuos cerámicos de la Empresa de Materiales de la Construcción de Guantánamo como Materiales Cementicios Suplementarios.

Autor: Heydis Cachimay López

Tutores: Dr. C. Carlos Alberto Leyva Rodríguez

Ing. Ángel Eduardo Espinosa Borges

Año 64 de la Revolución

Moa, 2022

Pensamiento



“La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo.”

Nelson Mandela

Agradecimientos:

A mi tutor Carlos Alberto Leyva por siempre preocuparse y ayudarme en todo momento y por ofrecerme siempre sus invaluable consejos y su inmensa experiencia.

A mi tutor Ángel Eduardo por brindarme su tiempo y sus conocimientos acerca del tema.

A Odalis y todos los colegas de la Empresa de Materiales de la Construcción de Guantánamo por su ayuda para recopilar información y por hacerme sentir parte de su colectivo de trabajo.

A todos los profesores de la Universidad de Moa que de una manera u otra estuvieron involucrados.

A mis padres que jamás me han dejado sola y que a pesar de que no lo les gustaba que estudiara lejos jamás me faltó su apoyo y dedicación por ellos y para ellos son todos mis esfuerzos.

A mis abuelos que desde pequeña fueron parte de mi formación y valores.

A mis compañeros de aula en especial a Katia y Rosibel que más que compañeras son mis hermanas y siempre estuvieron a mi lado apoyándome.

A los amigos que dejó en esta universidad que ocupan un gran espacio en mi corazón, que se convirtieron en mi familia universitaria los voy mencionar porque si no me matan, ellos son: Jady, Melissa, Anita, Lucy, Dayán, Marcia, Carlos (bombón), Claudia, Mario, Rogelio y Jorge a todos los amo y los voy a extrañar mucho.

A todos lo que de una manera u otro estuvieron involucrados y que sin su invaluable apoyo no se hubiera podido concebir este trabajo y que por la brevedad no he podido mencionar.

Dedicatoria

A mis padres que a pesar de la distancia siempre han estado ahí para mí dándome siempre motivación y apoyo.

A mis abuelos que siempre están pendiente de mí y mi formación profesional.

A mis amigos que fueron mi compañía en todos estos años.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización de los residuos cerámicos obtenidos de la mezcla de las arcillas de los yacimientos Novaliche y Yambeque en la provincia de Guantánamo para su evaluación como Materiales Cementicios Suplementarios. Las muestras de estos residuos fueron caracterizadas química y mineralógicamente mediante técnicas de Difracción de Rayos X, Fluorescencia de Rayos X, y se determinaron las pérdidas por ignición. Se determinó preliminarmente la potencialidad de estos materiales para ser empleados como MCS.

Índice

Pensamiento	2
Agradecimientos:.....	3
Dedicatoria	4
A mis padres que a pesar de la distancia siempre han estado ahí para mí dándome siempre motivación y apoyo.....	4
Resumen	5
Abstract:	¡Error! Marcador no definido.
Índice de figuras	9
Índice de Tablas	10
INTRODUCCIÓN:	11
Situación problemática:	13
Problema:	13
Objetivo general:.....	13
Hipótesis:.....	13
Objetivos específicos:	13
Objeto:	13
Campo de acción:.....	14
MARCO TEÓRICO CONTEXTUAL:.....	14
Significados del término arcilla:	14
Clasificación de las arcillas:	15
Desde el punto de vista geológico:	15
De acuerdo con su plasticidad:.....	15
Estructura y clasificación de los minerales arcillosos:	16
Materiales Cementicios Suplementarios (MCS). Generalidades:	16

Materiales Cementicios Suplementarios en Cuba:	18
Puzolanas. Generalidades.....	19
Auge en el interés de las arcillas calcinadas como MCS:.....	19
Estudios realizados en Cuba	¡Error! Marcador no definido.
Estudios realizados en Cuba relacionados con la utilización de residuos para la fabricación de materiales de la construcción.	21
CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS REGIONALES Y DEL ÁREA DE ESTUDIO:	23
1.1. Características Geológicas de la región	23
1.2. Clima	24
1.3. Relieve	24
1.4. Vías de Comunicación.....	25
1.5. Características hidrogeológicas del sector	25
1.6. Desarrollo económico de la región:	25
1.7. Estratigrafía regional:	26
1.8. Yacimiento Novaliche	27
1.8.1. Situación Geográfica	27
1.8.2. Relieve	28
1.8.3. Hidrogeología del Yacimiento.....	28
1.8.4. La morfología	29
1.8.5. La tectónica	29
1.8.6. Variedades litológicas:.....	29
1.8.7. Rocas encajantes y estériles:.....	29
1.8.8. Tipo Genético del yacimiento y proceso geológicos que dieron lugar a su origen	30

1.8.9. Calidad de la roca útil y uso industrial:	30
1.9. Yacimiento Yambeque	31
1.9.1. Ubicación geográfica	31
1.9.2. Red hidrológica	32
1.9.3 Vegetación	32
1.9.4. Geología del Yacimiento	33
1.9.5. Tectónica.....	33
1.9.6. Interpretación sobre la génesis del yacimiento.....	33
CAPÍTULO 2: MATERIALES, MÉTODOS Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS:	35
2.1. Introducción:.....	35
2.1. Estado del arte:	36
2.2. Documentación y Muestreo.....	39
2.3. Preparación de las muestras y realización de los ensayos Preparación de las muestras.....	40
2.3.1. Preparación de las muestras para medir el grado de calcinación de residuos cerámicos.....	41
Objetivo	41
Materiales.....	41
Equipos	41
Homogenización de los materiales utilizados.....	41
2.3.2. Preparación para Difracción de Rayos X.....	43
2.3.3. Muestras para Fluorescencia de Rayos X.....	44
2.4. Métodos de análisis.....	44
2.4.1. Grado de calcinación de residuos cerámicos.....	44

Procedimiento	44
<i>Reporte de los resultados</i>	46
2.4.2. Difracción de Rayos X	46
2.5. Metodología de Almenares Reyes del 2017:.....	47
2.5.1. Criterios de Límites.....	47
2. 6. Ensayos realizados a bloques utilizando como MCS los residuos.....	52
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	50
3.1. Análisis de los resultados de la caracterización química y mineralógica de los residuos de cerámica roja.	¡Error! Marcador no definido.
3.2. Resultados del Grado de calcinación de residuos cerámicos.	50
Conclusiones	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
Anexos:	60

Índice de figuras

Figura 1: Estructura interna de los minerales del grupo de las arcillas. Fuente:(Espinosa Borges2019).....	16
Figura 2:Esquema geológico regional de la provincia de Guantánamo, fuente (Parellada Reyes, 2016).....	24
<i>Figura 3: Mapa de elevación de la provincia de Guantánamo. Fuente (Parellada Reyes, 2016).</i>	25
Figura 4:Mapa de ubicación geográfica del yacimiento Novaliche. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 5:Mapa de ubicación geográfica del yacimiento Yambeque. Fuente: Elaboración propia	32

Figura 6 :Etapas de Investigación	35
Figura 7 : Imágenes de los residuos que son utilizados para la producción de MCS	40
Figura 8 : Morteros y capsulas de cerámica secados en la mufla	42
Figura 9 : Mortero de Ágata.....	42
Figura 10: Balanza analítica SARTORIUS	43
Figura 11: Capsulas de porcelana y desecadora	45
Figura 12: Horno eléctrico	45
Figura 13:Valores de pérdida de masa por ignición.	52

Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Composición química (%). Fuente: Palacio Greco (2005) Concesionario de la cantera de arcillas para la construcción Novaliche. Municipio Guantánamo. Provincia Guantánamo.....</i>	31
<i>Tabla 2: Composición química. Fuente: Informe sobre prospección y exploración orientativa y detallada de los sectores Yambeque y la clarita 1992.</i>	34
Tabla 3: Criterios límites con los valores determinados	47
Tabla 4: Requisitos químicos de la norma NC-Ts528 del 2007.....	48
<i>Tabla 5: Resultados de la calcinación.....</i>	60
<i>Tabla 6: Composición química de las arcillas Yacimiento Yambeque. Fuente: Informe sobre prospección y exploración orientativa y detallada de los sectores Yambeque y La clarita 1992.....</i>	60

INTRODUCCIÓN:

El cemento es un material inorgánico, no metálico, finamente molido que cuando se mezcla con agua y áridos forma una pasta que fragua y endurece (morteros y hormigones). Este endurecimiento hidráulico se debe principalmente a la formación de silicatos cálcicos hidratados como resultado de una reacción entre el agua y los constituyentes del cemento. Esta propiedad de aglomerante hidráulico le ha convertido en un material básico de construcción, imprescindible para la edificación y la realización de infraestructuras. El cemento Portland fue patentado en 1824, y es el cemento más ampliamente empleado en la actualidad en la fabricación del hormigón y su consumo y producción están directamente relacionados con la marcha del sector de la construcción y, por tanto, con la coyuntura económica general (Vera Lazcano, 2018).

El comercio mundial de cemento supone tan sólo el 6%-7% de la producción, en su mayoría transportado por mar. Hay generalmente poca importación y exportación de cemento, principalmente como resultado del alto costo del transporte por carretera, (los suministros de cemento por carretera suelen ser por lo general a distancias no mayores de 150 km). Su proceso de producción es considerado el responsable de entre 5 – 8 % de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, debido a los elevados volúmenes de producción a escala global (Müller & Harnisch, 2008), además de algunos autores como Taylor, Tam, and Dolf (2006) y EIA (2013) demuestran que puede ser una industria altamente consumidora de energía, con alrededor de 6 % del consumo de energía total en el sector industrial(Cisnero, 2010).

Las principales razones por las que el cemento promete seguir siendo el aglomerante más importante en el sector de la construcción, es debido a que las materias primas para su producción son geológicamente extensas y abundantes, y su agotamiento es poco probable en los próximos años (U.S., 2017) y (Tironi, Trezza, Irassar, & Scian, 2012).

La reducción del factor de clínker en el cemento, a través del empleo de Materiales Cementicios Suplementarios (MCS) es una de las alternativas más prometedoras,

para su desarrollo a corto y a mediano plazo, entre las definidas por la industria del cemento para lograr la sostenibilidad ecológica y medio ambiental de su producción (WBCSD, 2015; WBCSD & IEA, 2009). Diferentes subproductos industriales y materiales naturales pueden ser utilizados en la sustitución parcial de clínker en el cemento (CEMBUREAU, 2013). De este modo se reducen los volúmenes de clínker en el aglomerante y el consumo específico de energía y se logran mitigar las emisiones de CO₂ asociadas al proceso de producción.

Cuba no se queda fuera de estos problemas que existen hoy en el mundo, por eso en estudios realizados por el CIDEM con la Escuela Politécnica Suiza de Lausana y la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas se ha desarrollado una nueva fórmula para la producción de cemento que permite la sustitución de clínker por arcilla caolinítica calcinada. Debido a esto se hace fundamental la evaluación de los principales tipos genéticos de yacimientos de arcillas caolinítica conocidos en el país con ese fin (Espinosa Borges 2018).

Desde varias décadas, se ha registrado una tendencia internacional dirigida al aprovechamiento de recursos locales en los materiales de la construcción, con la finalidad de disminuir costes económicos; hacer descender el gasto energético y consumo de naturaleza, reducir contaminantes y gases con efecto invernadero; e incluso, la búsqueda de un hábitat saludable. Una de las vías recurridas ha sido utilizar residuos, fibras naturales y otros recursos locales en la elaboración de materiales apropiados de construcción (AA González, 2018).

Los yacimientos Yambeque y Novaliche fueron explotados en tiempos pasados con fines cerámicos, se conoce que posee contenidos de caolín, lo que puede ser favorable para la producción de cemento de bajo carbono, la mezcla de estas arcillas es utilizada para la fabricación de materiales de cerámica.

Teniendo en cuenta que la Empresa de Materiales de la Construcción de Guantánamo fabrica una variante de cemento de bajo carbono y lo utiliza como extensor en la fabricación de bloques, a partir de los residuos de los materiales de cerámica de los tubos y conexiones. Es por esto que en vista a la importancia y

utilización que se les concede a estos materiales se hace imprescindible el estudio, caracterización y evaluación de estos.

Situación problémica:

En la Empresa de Materiales de la Construcción de Guantánamo son utilizadas las mezclas de las arcillas de los yacimientos Novaliche y Yambeque para la fabricación de materiales cerámicos, de los cuales, sus residuos son empleados para la sustitución parcial del cemento, pero sin haberse realizado la fundamentación correspondiente.

Problema:

La necesidad de hacer un estudio sobre la caracterización de los residuos cerámicos de la Empresa de Materiales de la Construcción de Guantánamo, para su evaluación como extensor del cemento.

Objetivo general:

Evaluación de los residuos cerámicos a partir de sus propiedades químicas y mineralógicas como material cementicio suplementario.

Hipótesis:

Si se logra realizar la caracterización de estos residuos, se podrán fundamentar las prestaciones del material para la sustitución parcial del cemento.

Objetivos específicos:

- Caracterizar química y mineralógicamente de los residuos obtenidos de la fabricación de cerámica roja.
- Caracterización de la puzonalidad del material.

Objeto:

- Los residuos cerámicos de tubos y conexiones de la Empresa de materiales de construcción de Guantánamo.

Campo de acción:

- Materiales cementicios suplementarios.

MARCO TEÓRICO CONTEXTUAL:

Significados del término arcilla:

- Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 μm).
- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, 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. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.
- La arcilla está constituida por agregados de silicatos de aluminios hidratados, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Presentan diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato.
- Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. En la fracción textural de arcilla puede haber partículas no minerales, los fitolitos. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Son el producto de disgregación total o parcial de las rocas ígneas por acción del agua y los agentes atmosféricos (en especial el dióxido de carbono). En el proceso de generación de las arcillas estas se ven sometidas a largos períodos de tiempo, temperaturas y presión determinados por las regiones en las que se encuentran. Por esta razón el término industrial de la arcilla no

corresponde a una composición química o mineralógica definida; las arcillas son mezcla de diversas especies minerales, esto dependerá de la composición de la roca madre de partida. Esto hace muy complicado el estudio de las mismas y la evaluación de los yacimientos que, por el mismo motivo, 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 son: el óxido de titanio, calcio, magnesio, potasio, sodio y hierro (Díaz Álvarez, 2014, p. 16).

Clasificación de las arcillas:

Desde el punto de vista geológico:

Se pueden distinguir entre primarias las del tipo hipogénico y residuales que permanecieron en el mismo lugar de su formación y las secundarias que fueron acarreadas a lugares diferentes al de su origen.

Fluviales: depositadas por ríos y siendo la mayor parte depósitos de baja calidad.

Lacustres: asentados en lagos y estando en capas uniformes de buena calidad.

En deltas: son arenosas y de composición irregular.

Glaciales: formadas por la acción de grandes masas de hielo sobre rocas cristalinas.

De acuerdo con su plasticidad:

Arcillas plásticas: Presentan alta plasticidad las arcillas bentoníticas y mormonilloníticas.

Poco plásticas: Presentan esta característica las arcillas esmécticas, que absorbe las grasas.

Estructura y clasificación de los minerales arcillosos:

Los minerales arcillosos están formados por una estructura en forma de capas apiladas compuestas por una serie de planos paralelos de grupos de sílice tetraédricos y grupos de alúmina octaédricos dispuestos alternadamente. Los grupos del mismo tipo están unidos entre sí hexagonalmente formando capas de tetraedros $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ y octaedros $\text{Al}_2(\text{OH})_4^{2+}$ (estructura tipo gibsita) o $\text{Mg}_3(\text{OH})_4^{2+}$ (estructura tipo brucita). Los minerales arcillosos que presentan un empaquetamiento de una capa tetraédrica y una octaédrica se denomina de tipo 1:1, y aquellos que presentan una octaédrica entre dos tetraédricas, de tipo 2:1. Si el ion predominante en la capa octaédrica es divalente, como es el caso del Mg^{2+} , se ocuparán todas las cavidades y se tiene una configuración trioctaédrica, pero si el catión predominante en la capa octaédrica es trivalente, solo se ocuparán como promedio 2/3 de las cavidades octaédricas, dando lugar a la estructura dioctaédrica (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

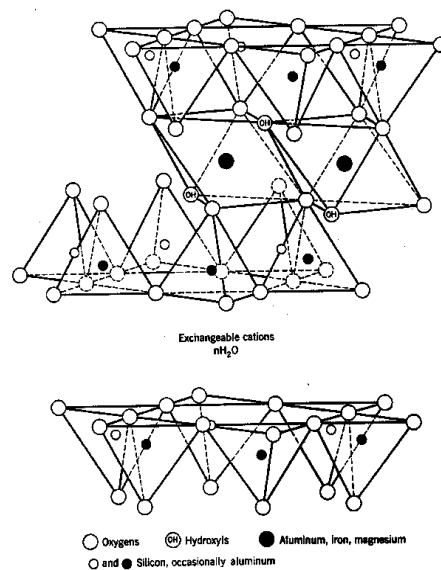


Figura 1: Estructura interna de los minerales del grupo de las arcillas. Fuente:(Espinosa Borges 2019).

Materiales Cementícios Suplementarios (MCS). Generalidades:

Los materiales que se emplean actualmente en la industria de la construcción tienen sus raíces en el mundo antiguo, donde ya se utilizaban mezclas para mejorarlas

propiedades de dichos productos. Sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo XX, la sustitución parcial del cemento Pórtland por materiales naturales o artificiales adquirió una renovada atención.

El interés más reciente está enfocado principalmente a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del proceso de tratamiento de la roca caliza para la obtención del clínquer, principal componente del CPO. La sustitución de una parte de clínquer con MCS está reconocida como la manera más efectiva de reducir las emisiones de dióxido de carbono y disminuir los gastos energéticos asociados a la producción del cemento, manteniendo o mejorando simultáneamente las propiedades del hormigón.

Los MCS son un conjunto de materiales que muestran actividad hidráulica o puzolánica, o ambas, y de esta forma mejoran las propiedades de los productos finales del cemento. Esta definición general de MCS incluye un gran número de materiales los cuales tienen grandes diferencias en lo que respecta a su origen, su composición química y mineral, así como las características de sus partículas. Se distinguen dos categorías generales: aquellas que poseen origen natural y las artificiales creadas por el hombre. El primer grupo consiste en materiales que pueden ser utilizados como MCS en la forma que naturalmente se presentan; en muchos casos, ellos solo necesitan preparación para obtener un tamaño de partículas adecuado. El segundo grupo incluye a los de origen artificial, materiales que han sido sometidos a modificaciones químicas y estructurales. En cada uno existe gran variabilidad en las propiedades físico-químicas, lo cual se debe al origen de cada MCS.

Las cenizas y tobas volcánicas, pumitas o piedra pómez y tierras diatomeas, son los ejemplos más comunes de puzolanas naturales. Otro de los materiales naturales que ha sido introducido como material cementicio suplementario en pequeñas cantidades es la caliza pulverizada sin calcinar. Entre las puzolanas artificiales más comunes se incluyen los subproductos o desechos de procesos industriales como son las cenizas volantes, las escorias granuladas de alto horno, y el humo de sílice; a este grupo se les suman las pizarras y arcillas calcinadas, los residuos de

productos cerámicos, así como las cenizas provenientes de procesos agrícolas como las de cáscara de arroz y las de bagazo de caña.

El empleo de MCS garantiza una disminución de los gastos en combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero durante la producción de este. A ello contribuye su amplia disponibilidad en casi todas las regiones. De ahí el interés creciente en su utilización como sustituyentes parciales del clínquer y en el estudio de cómo sus propiedades físico-químicas influyen los productos finales del cemento Pórtland (Almenares Reyes, 2017).

Materiales Cementicios Suplementarios en Cuba:

En Cuba, particularmente, no se produce energía a partir de carbón a gran escala y no existen a gran escala tecnologías metalúrgicas de las cuales se obtengan subproductos como las escorias granuladas de alto horno, las cenizas volantes y el humo de sílice, por lo que estos materiales no deben ser considerados como una fuente alternativa de MCS.

Las puzolanas naturales, siendo las tobas volcánicas, vítreas y zeolitizadas, y las pumitas o piedra pómez las más conocidas, también constituyen otro de los sustitutos empleados en la producción de cemento con una amplia disponibilidad en Cuba, pero debe señalarse que el desempeño físico-mecánico de los cementos con estas adiciones a edades tempranas es generalmente bajo, aunque se pueden alcanzar mayores prestaciones si la finura de estos se incrementa.

El metacaolín producido a partir de la calcinación de arcillas con alto contenido de caolinita y bajos niveles de impurezas, denominados comúnmente como caolines industriales, ha constituido otra de las alternativas valoradas como MCS a escala industrial, con prestaciones similares o superiores a las del humo de sílice, las cenizas volantes y la mayoría de las puzolanas naturales. Sin embargo, su uso a gran escala se ve limitado por la baja disponibilidad de yacimientos de alta pureza y la competencia con industrias ya establecidas durante muchos años como la cerámica y el papel, que también utilizan los depósitos de arcillas caoliníticas de alta pureza como fuente de materias primas. Estos aspectos también se aplican al caso de nuestro país.

Puzolanas. Generalidades

Los materiales puzolánicos son una subcategoría dentro de los materiales cementicios suplementarios. La ASTM define como puzolanas a aquellos productos naturales o artificiales, silíceos o aluminio-silíceos que, por sí mismos, poseen poca o ninguna propiedad aglomerante, pero que, finamente molidos y en presencia de agua, reaccionan químicamente con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes. Bajo esta definición se engloban materiales de muy diferente naturaleza, que van desde rocas y sedimentos a residuos industriales o agrícolas y arcillas calcinadas. De acuerdo a las especificaciones de la ASTM C618-03 para cenizas volantes y puzolanas naturales o artificiales y su empleo en hormigones, la composición química debe ser tal que la suma de los óxidos de Si, Al y Fe expresados como por ciento en masa, sea superior al 70%. Este requerimiento es seguido por otras especificaciones de las propiedades físicas que deben presentar los morteros con sustitución puzolánica.

Los criterios de composición química son insuficientes para la determinación del potencial carácter puzolánico de un material dado; es preciso también tener en cuenta sus características estructurales y morfológicas. La presencia de sílice y, en ocasiones, alúmina (criterio de composición química), contenidos en fases con un alto grado de desorden estructural (criterio estructural) y en una forma tal que presenten una elevada superficie específica (criterio morfológico), son las características que, actuando de manera combinada, determinan de forma directa la capacidad de reacción puzolánica de un material dado (Alujas Díaz 2010).

Auge en el interés de las arcillas calcinadas como MCS:

Entre la amplia variedad de materiales cementicios suplementarios que pueden ser empleados para reemplazar parte del clínquer en el aglomerante, existe creciente interés en el empleo de las arcillas activadas térmicamente, especialmente de los minerales arcillosos del grupo de la caolinita. Esto incluye no solo los yacimientos de arcillas caoliníticas de alta pureza, relativamente escasos y con alta demanda, principalmente por la industria del papel y la cerámica, sino también los depósitos con contenidos moderados de arcillas caoliníticas.

El estudio de estas como fuente de materiales cementicios suplementarios en la industria del cemento se ha incrementado en los últimos años, basado en sus favorables propiedades tecnológicas, reducción de los costos del cemento y del impacto negativo sobre el medio ambiente. Influyen, además, aspectos como la alta reactividad puzolánica de sus productos de calcinación y sus relativamente bajas temperaturas de activación. Investigaciones recientes han demostrado la posibilidad de obtener a partir de arcillas con un 40 % de caolinita un material reactivo con un comportamiento similar al metacaolín comercial, que permite sustituciones de hasta un 30 % en peso de CP en el aglomerante. Este tipo de depósitos arcillosos, con contenidos moderados de arcillas caoliníticas, son muy abundantes en las zonas tropicales y subtropicales donde se concentra la demanda de materiales cementicios y donde sus reservas probables deben exceder los miles de millones de toneladas. Es por ello que se considera de manera general que las arcillas calcinadas constituyen el grupo de MCS con mayores potencialidades en los próximos años.

La localización de Cuba en un área climática que favorece la formación de arcillas caoliníticas como resultado del proceso de meteorización, y la presencia documentada de depósitos de arcillas caoliníticas de génesis hidrotermal y redepositados, permite inferir que las arcillas caoliníticas son relativamente abundantes en el país.

En Cuba, las arcillas calcinadas se presentan como una alternativa con excelentes potencialidades para la mitigación del impacto ambiental de la industria del cemento cubano y para suplir la creciente demanda nacional. Sin embargo, la falta de conocimiento acerca de la disponibilidad y características de los depósitos de arcillas caoliníticas existentes en Cuba capaces de ser utilizados como fuente de materia prima en la producción de puzolanas a escala industrial, constituye una de las principales limitantes para el desarrollo, producción y utilización de este tipo de materiales.

En Cuba se han realizado múltiples y variados estudios sobre las arcillas, pero solo en fechas recientes se han comenzado a estudiar las potencialidades de estos

materiales como fuente de MCS. Sin embargo, un proyectado incremento de la producción de cementos con altos volúmenes de sustitución de clínquer en el país a partir del empleo de arcillas calcinadas demanda necesariamente de una profundización en el estudio de los yacimientos arcillosos cubanos como fuente de materiales puzolánico.

La falta de estudios acerca de la disponibilidad de fuentes de material arcilloso con posibilidades de ser utilizado como fuente de MCS es una de las principales limitantes encontradas para la producción generalizada de este tipo de aglomerante en el país.

Esta problemática está vinculada a que los datos disponibles del Instituto de Geología y Paleontología y la Oficina Nacional de Recursos Minerales consideran las reservas de arcillas caoliníticas como bajas. Sin embargo, estos cálculos han estado limitados a la identificación y cálculo de reservas de aquellas arcillas capaces de satisfacer las características demandadas por las industrias de la cerámica, refractarios y la producción de cemento blanco, que requieren de depósitos de arcillas de alto contenido de caolinita y/o bajo contenido de hierro, consideraciones que no son limitantes tan estrictas para la producción de MCS.

Es por ello que el estudio de aquellos depósitos de arcillas caoliníticas con determinados volúmenes de impurezas, pero cuyo contenido de minerales arcillosos justifica su empleo como MCS a partir de su activación térmica, resulta una apremiante necesidad para satisfacer la demanda de cemento a partir del diseño de estrategias que permitan alcanzar altos volúmenes de sustitución del clínquer, disminuir los costos de producción, mitigar las emisiones CO₂, y en la medida de lo posible aprovechar las tecnologías existentes sin grandes inversiones de capital. Extender estos estudios permitirá, además, tener un mayor grado de conocimiento de las reservas existentes en todo el país.

Estudios realizados en Cuba relacionados con la utilización de residuos para la fabricación de materiales de la construcción.

Antecedentes nacionales de las últimas tres décadas: La mencionada tendencia también se registró activamente en Cuba, particularmente durante la profunda crisis

económica iniciada en los años 90. En la búsqueda de nuevos materiales y elementos de construcción se destacaron los obtenidos por Jorge Acevedo en el Centro de Estudios de Arquitectura Tropical (CECAT), en la Habana, entre los que se encontraba la aplicación de soluciones asfálticas acuosas calientes en la construcción, y el cemento hidrófugo obtenido con la cera de la caña de azúcar que facilitó, entre otros, la producción de tejas TEVI. Son también muy sobresalientes los resultados obtenidos e implementados en la práctica por Fernando Martirena Hernández y sus colaboradores de la facultad de Construcciones de la Universidad Central de Las Villas (UCLV) sobre la obtención de cemento y materiales apropiados de bajo costo. Por otro lado, Manuel Urrutia investigó posibilidades para reutilizar residuos de demoliciones de obras, lo que aplicó a un prototipo de vivienda experimental en La Lisa, La Habana

Entre otros antecedentes en el país, se obtuvo de forma experimental, un aglomerante cal-puzolana en 1992-93, mediante la calcinación lenta de bolos semisoterrados de cal mezclada con bagazo de caña de azúcar. Por otro lado, entre 1991 y 1992 se realizaron experimentos con elementos elaborados en prensas CINVA-RAM de mezclas de cemento con arcilla tipo Capdevila para aplicarlos en La Güinera, en La Habana, y se construyó en 1992-93 en el barrio Coco solo, en Marianao, La Habana, un edificio multifamiliar experimental de bloques de suelo local estabilizado con bajo consumo de cemento, con la colaboración del *Weiterbildungsinstitut für Städtebau und Architektur WB Tropen und Auslandsbau*. (AA Gonzales, 2018)

CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS REGIONALES Y DEL ÁREA DE ESTUDIO:

1.1. Características Geológicas de la región

La geología de la región ha sido tomada del informe sobre el levantamiento geológico a escala 1:250000 de la antigua provincia de Oriente de E, Nagy y otros (1976). Según este documento la región de estudio se ubica en la zona estructural Nipe Cristal Baracoa; existiendo para el extremo NE y NW del yacimiento gran difusión de rocas del complejo vulcanógeno sedimentario; representado por la formación Bucuey (K1- K2) y Miranda (P1- P2) (figura2).

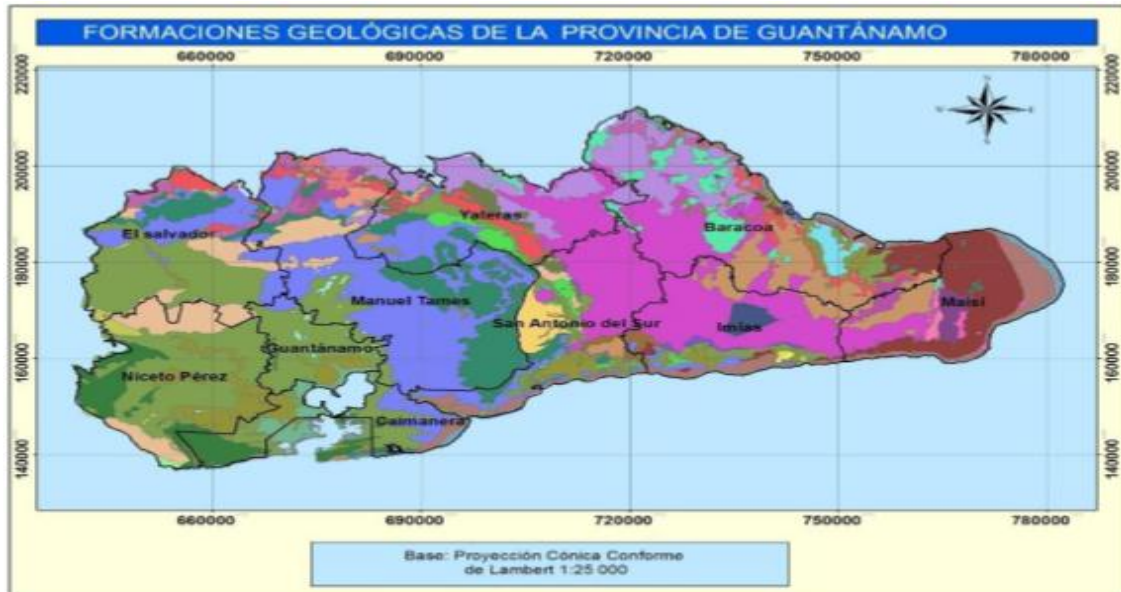
La formación Bucuey formada por tobas, lavas, y aglomerados; en cantidad subordinada se incluye pequeños lentes de conglomerados y de caliza. Las tobas ocupan más del 50 % del total de la secuencia apareciendo en la parte superior y son cristalovitroclásticas, litovitroclástica.

El resto de la región está representado por rocas de la cobertura del neógeno y cobertura del paleógeno tardío y temprano pertenecientes a los complejos carbonático y carbonático terrígeno.

Fm. Yateras P3-N1. Constituida por calizas biógenas, duras, carsificadas.

Fm Maquey P3-N1; areniscas y aleurolitas polimícticas de cemento calcáreo, friable, y Fm. San Luis P2 areniscas y aleurolitas carbonatadas.

Finalmente, en el extremo SW- NW afloran la Fm. Charco Redondo perteneciente a la cobertura tectonizada del Paleógeno, formado por calizas compactas órgano detrítico y fosilífero.



Leyenda

ASOCIACION TONALITO-GRANDIORITICA	DEPOSITOS DE LIMO GRUESO (0.05-0.1mm)	MELANGE SERPENTINITICO
BARACOA	DEPOSITOS DE LIMOS ARCILLOSOS	MICARA
CABACU	DEPOSITOS DE LIMOS ARENOSOS	MOREL
CABO CRUZ	DEPOSITOS ELUVIO-COLUVIALES	MUCARAL
CAMARONES	DEPOSITOS MARINO+PALUSTRE	PLAYA MOLINO
CHAFARINA	DEPOSITOS PALUSTRES	PUERTO BONIATO
CHARCO REDONDO	DIORITAS	PUNTA IMIAS
CILINDRO	EL COBRE	RIO MAYA
COMPLEJO GRANDIORITICO	GABRO DIABASA	SABANETA
CUMULOS MAFICOS	GRAN TIERRA	SAN IGNACIO
CUMULOS ULTRAMAFICOS	GÜIRA DE JAUCO	SAN LUIS
DEPOSITOS ALUVIALES	JAIMANITAS	SANTO DOMINGO
DEPOSITOS BIOGENICOS	JAIMANITAS (en el mar)	SIERRA DE CAPIRO
DEPOSITOS DE ARCILLAS	JAMAICA	SIERRA DEL PURIAL
DEPOSITOS DE ARENA GRUESA (10-0.5mm)	LA LINER	SIERRA VERDE
DEPOSITOS DE ARENAS	LA PICOTA	TECTONITAS
DEPOSITOS DE GRAVAS (1-10mm)	MAQUEY	YAGUANEQUE
DEPOSITOS DE GRAVAS ARENOSAS	MAR	YATERAS

Figura 2: Esquema geológico regional de la provincia de Guantánamo, fuente (Parellada Reyes, 2016).

1.2. Clima

El clima es tropical y húmedo, en general con media absoluta de temperatura de 27 grados, con pocas variaciones al año.

1.3. Relieve

El relieve de la región se caracteriza por ser montañoso con presencia de elevaciones que alcanzan hasta 458 metros de altura con respecto al nivel medio del mar (figura 3).

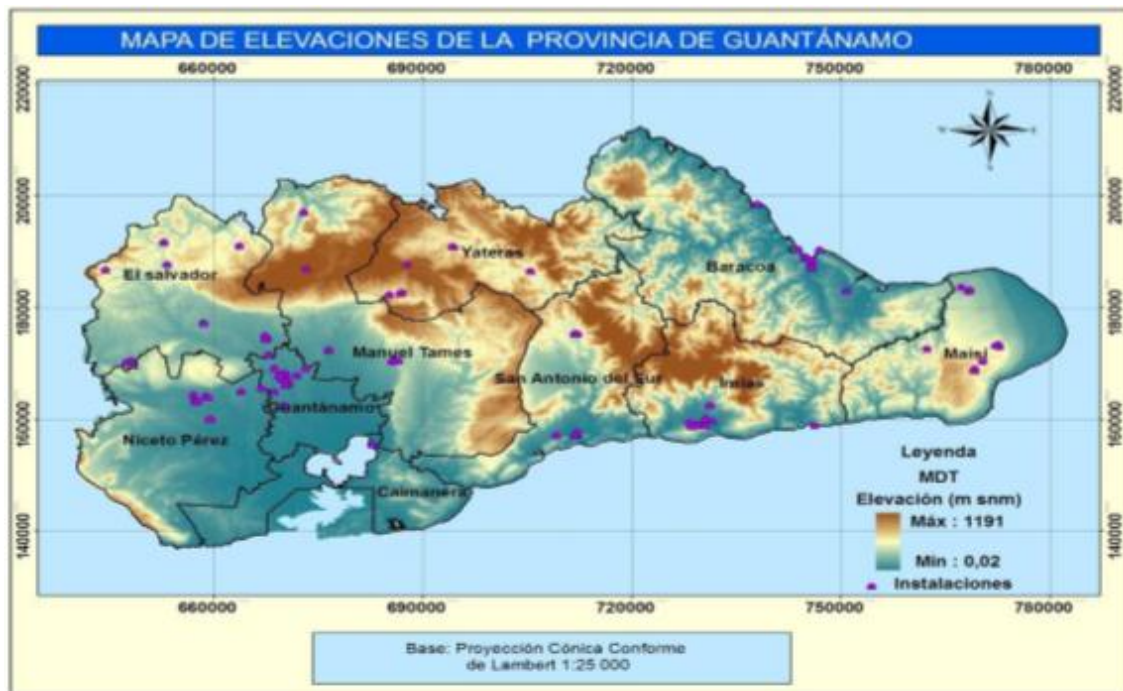


Figura 3: Mapa de elevación de la provincia de Guantánamo. Fuente (Parellada Reyes, 2016).

1.4. Vías de Comunicación

La principal vía de comunicación en sentido regional es la carretera que une a la ciudad de Guantánamo con Santiago de Cuba, Baracoa y Jamaica. Localmente la red de comunicaciones está bien desarrollada, existiendo una carretera de asfalto en buen estado, que une a las ciudades de Guantánamo y Caimanera, pasando está bastante cerca del yacimiento, de esta carretera sale un terraplén que llega hasta la cantera.

1.5. Características hidrogeológicas

La red hidrográfica de la región está bastante desarrollada, destacándose los ríos Jaibo, Guantánamo y Guaso. Todos estos ríos desembocan en la bahía de Guantánamo al Sudeste de la región.

1.6. Desarrollo económico de la región

La economía de la región está desarrollada fundamentalmente en la producción agropecuaria y sus industrias derivadas. El cultivo y el procesamiento de la caña de azúcar es su principal renglón económico; además tiene importancia el cultivo del

café, lo cítricos y las hortalizas. Localmente existe un gran desarrollo de los planes vianderos, los cuales son atendidos fundamentalmente por estudiantes de secundaria básica y preuniversitario. También se cuenta con la extracción y lavado de arena en Malavé, relativamente cercana del yacimiento. Por último tenemos que el desarrollo de la cerámica roja, a escala local, es extremadamente manifiesto, donde se observa que sus habitantes en su mayoría se dedican a esta labor.

1.7. Estratigrafía regional

La geología de la zona donde se ejecutan los trabajos se encuentra enclavada en la zona estructuro facial Sierra de Nipe - Cristal - Baracoa, específicamente en la cuenca de Guantánamo.

La zona de los trabajos es un peniplano con aisladas elevaciones, por lo que el grado de afloramiento es relativamente bajo.

En el yacimiento están presentes las siguientes formaciones geológicas:

- **Formación San Luis (SLU):** está presentada por una gran variedad de rocas clásicas, terrígenas, carbonatadas de granulometría variada, desde las arcillas hasta los conglomerados, además tiene calizas laminares o de capa gruesa. Se caracteriza por el predominio de areniscas de grano fino, medio y de aleurolitas carbonatadas. Las areniscas y las arcillas de edad Cuaternario del yacimiento perteneciente a esta formación.
- **Formación Camarones** (Eoceno Medio Superior): Está constituida por conglomerados de cantos subbandedados y redondeados, y areniscas de granos medios.
- **Formación Boquerón** (Eoceno Superior): Formada por conglomerados y cantos rodados, de una arenisca poco metamorfizadas. La formación aflora como una intercalación de la formación San Luis.
- **Formación Jamaica** (Plioceno): En la base del corte afloran estratos de areniscas calcáreas, tipo schlier y sobre esto yacen los conglomerados de esta formación.

- **Formación Maya** (Pliopleistoceno): Constituida por calizas coralinas, duras, recristalizadas y carcificadas con fauna pobre.
- **Formación Jaimanitas** (Pleistoceno Superior): Está representada litológicamente por calizas órgano - detríticas masivas, algo cavernosas, duras, con intercalaciones de calcarenita de grano fino y contiene una fauna abundante.
- **Formación de Río Macío** (Holoceno): Se observa una secuencia de sedimentos aluviales, bloques, gravas, cantos rodados, arenas, aleurolitas y arcillas.
- **Formación Jutia** (Holoceno): Constituida por sedimentos suaves y fragmentarios, cómo aleurolitas calcáreas y detríticas, arena marchosa y arcillosa.

1.8. Yacimiento Novaliche

1.8.1. Situación Geográfica

El yacimiento de arcillas Novaliche está ubicado en la provincia de Guantánamo a unos 10 km aproximadamente de la ciudad del mismo nombre. Se localiza en la Hoja Cartográfica 5176- II Guantánamo del ICGC, escala 1:50000 (Figura 4).

Las coordenadas geográficas de la parte central del yacimiento son las siguientes:

- 20 04 06 de latitud norte
- 75 11 40 de longitud oeste

Según Lambert

X 670 950 671 700

Y 157 600 158 400

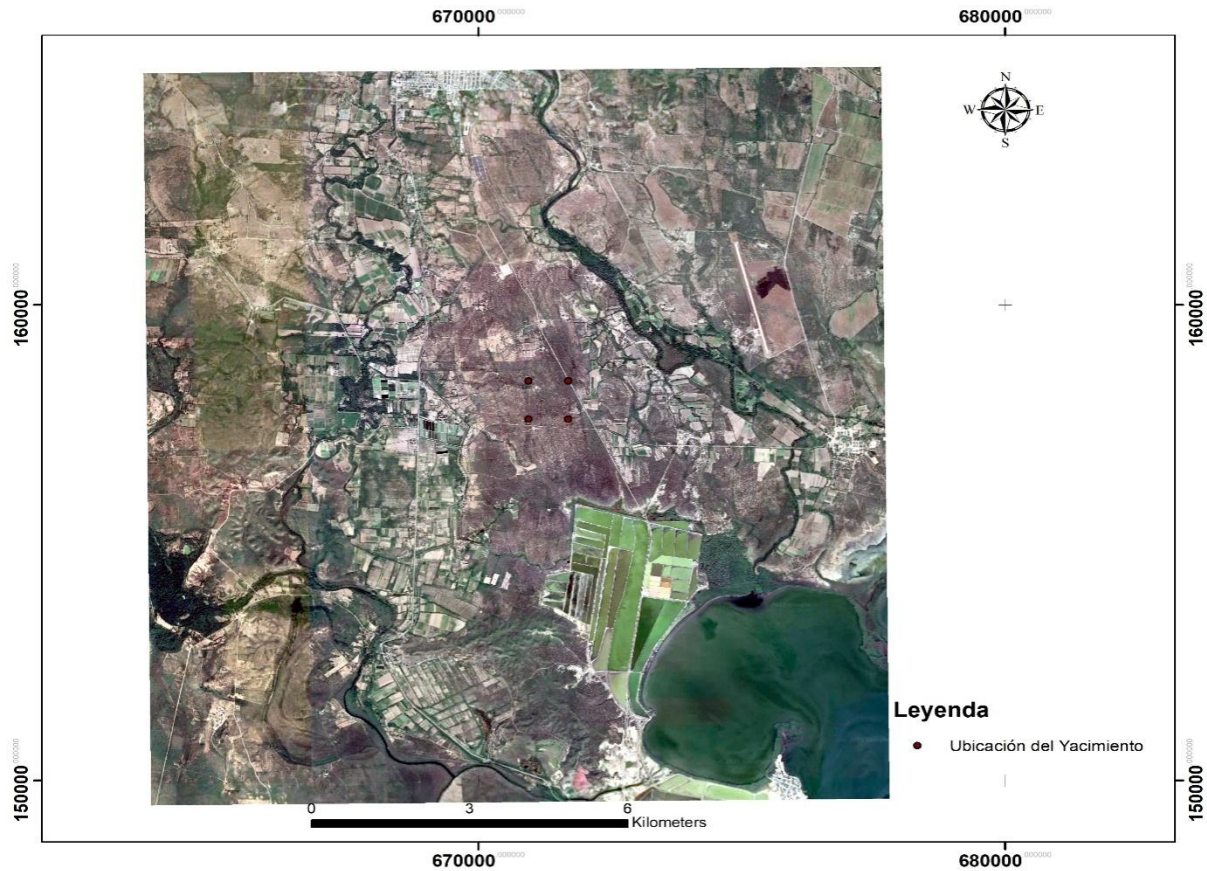


Figura 4: Mapa de ubicación geográfica del yacimiento Novaliche. Fuente: Elaboración propia.

1.8.2. Relieve

El relieve de la región es del tipo peniplanizado, característica esta peculiar del Valle de Guantánamo. Las elevaciones son aisladas con cotas que alcanzan los 21 m.

Existe una relación entre el relieve del yacimiento y los depósitos de arcilla; ya que las partículas arcillosas se han acumulado aprovechando las depresiones del terreno, es decir, que estas partículas son arrastradas de las partes altas a las bajas.

1.8.3. Hidrogeología del yacimiento

Desde el punto de vista local la red hidrográfica es pobre, poniéndose de manifiesto esto por la no existencia de ríos y arroyos de los trabajos donde se inserta el yacimiento.

De acuerdo a los datos de perforación, hasta la profundidad alcanzada, no se detectó el nivel de las aguas subterráneas en estas rocas.

Analizando lo antes expuesto se plantea que las condiciones hidrogeológicas de este yacimiento son simples, no esperándose complejidad durante los trabajos de laboreo minero.

1.8.4. La morfología

La morfología del yacimiento tiene una vital importancia, ya que los depósitos arcillosos han aprovechado las depresiones existentes para acumularse.

1.8.5. Tectónica

Con respecto a la tectónica y a las estructuras reveladas en el yacimiento, hasta el momento no se reportaron evidencias de estructuras producto de movimiento tectónico.

1.8.6. Variedades litológicas

Arcilla, arcilla finamente arenosa, arcilla arenosa mezclada con fragmentos de areniscas, arena arcillosa con muchos fragmentos de arenisca compacta y en la base del corte aparece una arenisca de grano fino compacta.

Tomando en cuenta la plasticidad y la granulometría de las arcillas del yacimiento se divide éste en dos tipos:

- Arcillas de color carmelita, con plasticidad de media a alta y granulometría fina.
- Arcillas de color amarillo - verdoso de poca plasticidad y granulometría algo arenosa.

1.8.7. Rocas encajantes y estériles:

Debido a que las consecuencias de arcillas tanto carmelita como amarillo - verdoso, los dos tipos litológicos fueron cortados desde la misma superficie del terreno, explica la no existencia de cubierta en el yacimiento.

1.8.8. Tipo genético del yacimiento y proceso geológicos que dieron lugar a su origen

Desde el punto de vista de su formación el yacimiento corresponde al tipo sedimentario, con procesos incipientes de meteorización según el informe geológico.

La secuencia de roca útil está compuesta por dos tipos diferentes de arcillas, una de color carmelita con una variable grado de plasticidad, la otra de color amarillo – verdosa que en profundidad aparece mezclada con fragmentos de areniscas y algunas partículas de carbonatos, lo que indica que luego de su redeposición, estas arcillas se vieron sometidas a un proceso de intemperismo, aunque no muy intenso que dio lugar a una ligera diferenciación de las mismas a lo largo del corte.

Los depósitos del yacimiento poseen formas alargadas y estrechas, y están aislados en algunas partes por elevaciones, donde afloran las areniscas. Todo lo anterior se puede argumentar por los procesos de meteorización que sufrieron las rocas de la formación San Luis que se encontraban en la parte más elevada del territorio. Esto trajo como consecuencia que esas grandes elevaciones fueran erosionándose y por arrastre alimentando las grandes depresiones, dando como resultado la acumulación del material fino seleccionado y la formación de una llanura. Todo este proceso de destrucción y formación dio como resultado la actual forma del yacimiento, o sea, pequeñas elevaciones alargadas con dirección Norte - Sur y en las partes bajas los depósitos arcillosos.

1.8.9. Calidad de la roca útil y uso industrial

Las arcillas del yacimiento, según las investigaciones, desde el punto de vista químico pertenecen a un solo tipo tecnológico de materia prima.

Según las tres fracciones fundamentales, [(0.002 - 0.005), (0.005 - 0.01) y (0.01 - 0.063)] mm, se caracterizan estas arcillas como pulvulentas.

Tabla 1: Composición química promedio del yacimiento Novaliche (%). Fuente: Palacio Greco (2005).

Compuestos	%
SiO ₂	50,42
Al ₂ O ₃	12,60
Fe ₂ O ₃	7,50
TiO ₂	0,72
CaO	8,0
MgO	6,45
K ₂ O	1,64
Na ₂ O	1,90
SO ₃	0,12

1.9. Yacimiento Yambeque

1.9.1. Ubicación geográfica

EL Yacimiento Yambeque se ubica en el municipio El Salvador, a unos 12 km al sureste del poblado de Bayate, a unos 23 km al noreste de la ciudad de Guantánamo (Figura 5).

Las coordenadas aproximadas al centro de cada uno de los cuerpos del yacimiento Yambeque son:

Cuerpo 1 X 661080 Y 187590

Cuerpo 2 X 660760 Y 187350

Cuerpo 3 X 660490 Y 186540

El depósito se localiza en la hoja topográfica 5176-IV Los Reynaldos, escala 1: 50 000.

Las coordenadas aproximadas del centro del área según el sistema conforme de Lambert son las siguientes:

X- 658 500

Y- 186 000

El acceso hasta Yambeque es bueno, se llega por terraplén que sale desde Bayate.

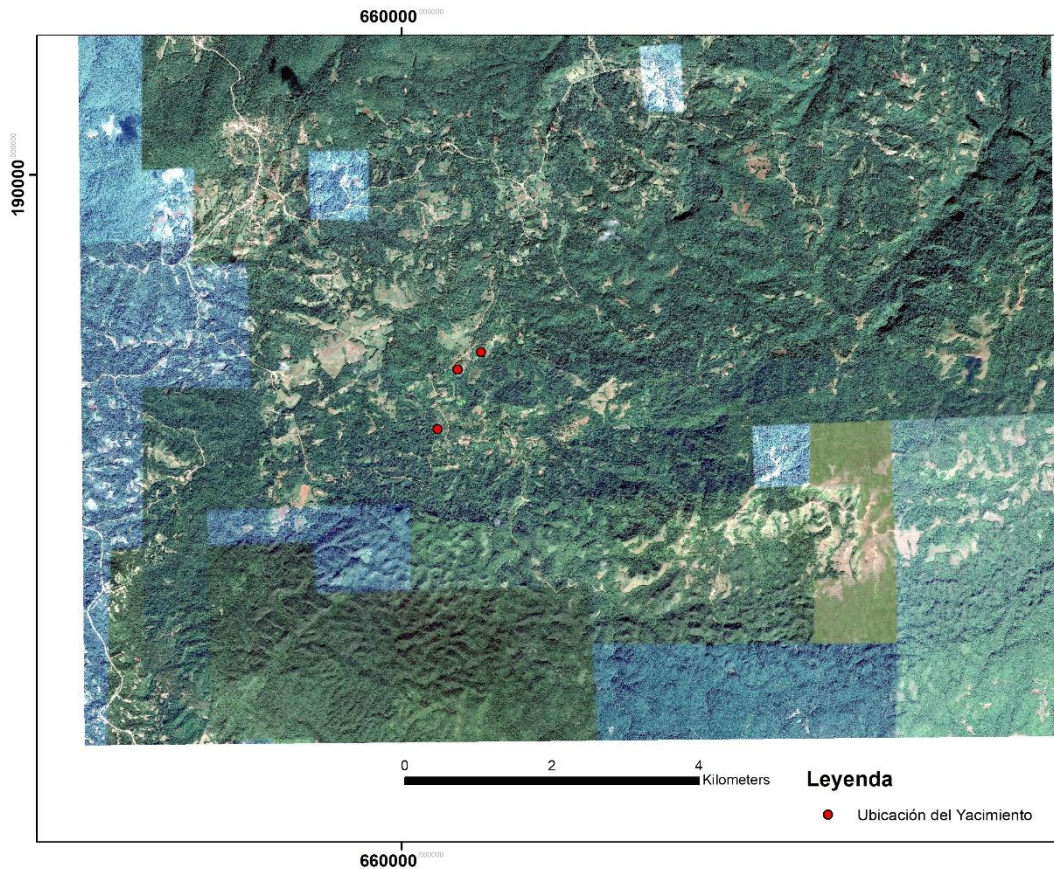


Figura 5: Mapa de ubicación geográfica del yacimiento Yambeque. Fuente: Elaboración propia.

1.9.2. Red hidrológica

La red hidrográfica está representada por los ríos Toro y Colonia.

1.9.3 Vegetación

La vegetación predominante es arbústica tupida, la economía se basa en el cultivo de café y en menor importancia los frutos menores.

1.9.4. Geología del Yacimiento

La geología del yacimiento está conformada por arcillas por color rojizo amarillento muy plástica; estos depósitos son de origen eluvial coinciden con la forma del relieve apareciendo en forma de domos, aumentando su espesor en las zonas apicales del relieve, en ocasiones en las laderas aparece material arcilloso redepositado envolviendo a fragmentos de material tobáceo redondeado aumentando considerablemente la potencia de las laderas.

La secuencia vertical de estas arcillas muestra una desintegración cíclica; observándose una capa superior rojiza muy plástica de granulometría muy fina y una capa superior en la que aumenta el contenido de fracciones gruesas en la medida que profundizamos hacia la roca madre, en ocasiones existe alternancia entre ambas, apareciendo indistintamente vetillas caolinizadas en el corte así como fragmentos de tobas.

Podemos considerar el yacimiento Yambeque como tres cuerpos arcillosos de corteza de meteorización en forma de domos que aparecen de forma intermitente, haciendo contacto en las zonas bajas o depresiones con arcillas de color marrón de granulometría gruesa.

1.9.5. Tectónica

Estos depósitos por ser recientes no tienen influencia tectónica.

1.9.6. Interpretación sobre la génesis del yacimiento

Genéticamente estas arcillas surgen producto de procesos hipergénicos de meteorización sobre las tobas de la FM. Bucuey relacionadas con los minerales aluminosilicatos, dando lugar a arcillas de origen eluvial residual.

La potencia de estos depósitos, así como la granulometría fina, está condicionada por la baja resistencia de la roca madre a los procesos de meteorización.

Tabla 2: Composición química del yacimiento Yambeque. Fuente: Informe sobre prospección y exploración orientativa y detallada de los sectores Yambeque y la Clarita 1992.

Compuestos	%
SiO ₂	52,48
Al ₂ O ₃	19,65
Fe ₂ O ₃	12,87
TiO ₂	1,05
CaO	0,17
MgO	1,31
K ₂ O	0,22
Na ₂ O	2,09
SO ₃	0,1
MnO	0,12

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción:

En el presente capítulo se numeran los materiales y métodos utilizados para la realización de esta investigación, la misma estuvo dividida en tres etapas fundamentales (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 6). En la primera etapa se realiza una revisión bibliográfica de todos los materiales recopilados, que guardan relación con la investigación. La segunda etapa se dedica a la documentación y la selección de muestras para analizar. En la tercera etapa se seleccionaron y prepararon las muestras para realizar los ensayos de laboratorio. En el laboratorio se realizó Análisis Térmico Diferencial para determinar el grado de calcinación de residuos cerámicos, Difracción de Rayos X, Fluorescencia de Rayos X, y se empleó la metodología desarrollada por Almenares Reyes en el 2017 para evaluar los resultados obtenidos.

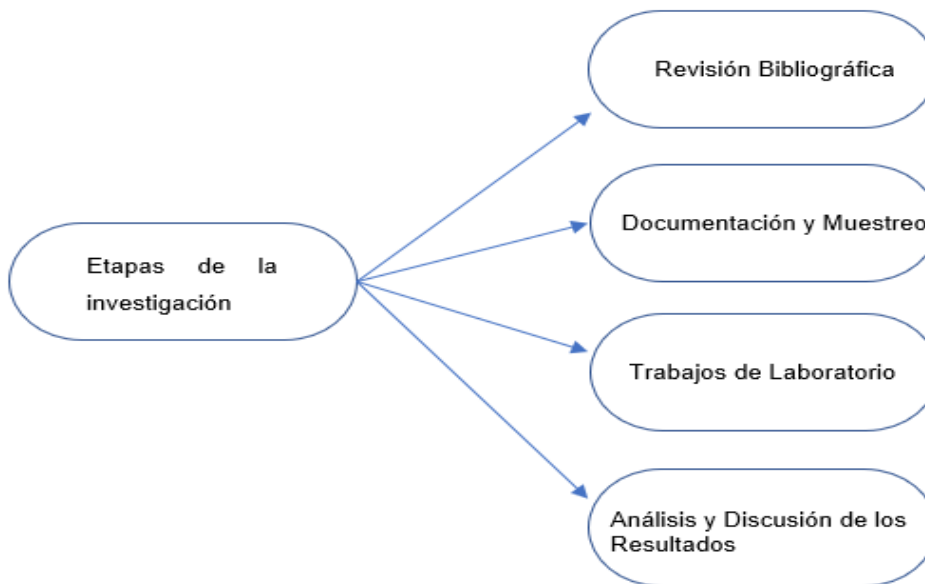


Figura 6 : *Etapas de Investigación*

2.1. Estado del arte

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.

No obstante, varios autores han realizado numerosas investigaciones relacionados con la caracterización de los yacimientos arcillosos con el objetivo de valorar sus potencialidades como materia prima en la industria de cerámica roja. En este trabajo se hace referencia principalmente aquellos realizados en la región oriental destacando que se han perpetrado investigaciones de este tipo en todo el país.

- De acuerdo con estudios precedentes (Orozco, 1995; Pons, J.A. & Leyva, 1996) 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.
- Orozco y Leyva (Orozco, 1995; Pons, J.A. & Leyva, 1996) determinaron el origen geológico de las arcillas de Moa el cual está dado por la existencia de manifestaciones de arcillas caoliníticas, de las cuales una parte considerable se encuentra relacionada con cuerpos de gabros de diversas dimensiones y poseen un carácter semirrefractario.
- Rafael Villar Reyes (Villar Reyes, 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.
- Marabih Fadel Luali en 2005 (Fadel, 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.

- Yordanis Brocard Rivera (Brocard Rivera, 2011) realizó una evaluación con mezclas de arcilla y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica demostrando que la mezcla de 40 % de arcilla; 57 % de mezcla de arena sílice residual y 3 % de agua, fue la que mejores resultados alcanzó atendiendo a las propiedades evaluadas.
- Yosvany Díaz, Dania Betancourt y José Fernando Martirena (Díaz Cárdenas, Yosvany; Betancourt, Dania; Martirena, 2011) realizaron una investigación acerca de la influencia de la finura de 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 (Njila, 2016) 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.
- Adrián Días Álvarez (Días Álvarez, 2014) realizó una evaluación de mezclas de arcillas con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos en Bayamo. Prov. Granma. El mismo llegó a la conclusión que se puede mejorar la calidad de los ladrillos cerámicos y otros productos empleando las mezclas con tobas vítreas, aditivo que se comporta como un fundente, lo cual permite disminuir la temperatura de cocción del ladrillo y/o el tiempo que el mismo se encuentre en el horno. De las mezclas que se utilizaron y se le realizaron las pruebas correspondientes presentaron un mejor resultado aquellas que tenían un 10% de tobas vítreas.
- Según Roger Samuel Almenares Reyes (Almenares Reyes, 2017) el contenido de minerales arcillosos del grupo de la caolinita es el factor de mayor influencia sobre la reactividad puzolánica de sus productos de calcinación. La temperatura de activación térmica y la presencia de minerales acompañantes térmicamente

inestables durante el proceso de calcinación también muestran influencia sobre la reactividad puzolánica. La reactividad puzolánica de las arcillas caoliníticas activadas térmicamente es directamente proporcional al contenido de Al soluble en medio alcalino en sus productos de calcinación.

- Según Adrián Alujas (Alujas, 2010) la fracción arcillosa multicomponente calcinada a 800 °C durante 60 minutos, que representa el mejor compromiso entre el grado de desorden estructural y la superficie específica, mostró la mejor reactividad puzolánica tanto en pastas como en morteros, seguida de la fracción arcillosa calcinada a 600 °C, con alta superficie específica e incompleta descomposición de las fases arcillosas, y de la fracción arcillosa calcinada a 925 °C, con baja superficie específica, completa descomposición de las fases arcillosas, y que marca el inicio de los fenómenos de recristalización.
- Se evaluó la influencia de la temperatura y la composición mineralógica en la resistencia a la compresión de los morteros confeccionados con productos de calcinación de las arcillas del yacimiento Yaguajay, resultando en todos los casos valores dentro de la norma(NC506:2007), al tiempo que se establecieron los 800 °C como temperatura óptima de calcinación(Herrera del Sol, 2018).
- Mario Vera Lazcano (Vera Lazcano, 2018) evaluó el comportamiento térmico de la muestra compuesta obteniendo un 75% y un 2% como valores de caolín y calcita equivalentes respectivamente. En ambos casos los contenidos favorecen la utilización de la mezcla para la obtención de cementos de bajo carbono.
- Según Roger Samuel Almenares Reyes (Almenares-reyes, Bassas-noa, & Betancourt-rodríguez, 2016) la solubilidad del aluminio y el silicio en álcali y la resistencia a la compresión de los sistemas LC3 es proporcional a su contenido en la arcilla, siendo superior para la de mayor contenido de caolinita y mayor desorden estructural.
- Según Daimy Caridad García Valladares (García Valladares, 2015)el cemento de bajo carbono elaborado sobre la base de clínker-arcilla calcinada-caliza-yeso, no se encuentra amparado en la normativa cubana hasta el momento, lo cual demanda un estudio profundo de la normativa internacional, de los resultados de los ensayos de las pruebas experimentales realizadas y de las normas

nacionales vigentes, con el objetivo de concretar la estrategia de introducción de dicho cemento.

- Según el trabajo de doctorado de Leng Maday Vizcaíno Andrés (Vizcaíno Andrés, 214AD). El comportamiento ante la penetración de cloruros en morteros fabricados a partir de la serie de cemento con 45 % de adición de arcilla calcinada – caliza es 10 veces superior que en los morteros de cemento Portland usados como referencia. Ello se atribuye al refinamiento de la estructura de poros y la mayor tortuosidad producida por la reacción puzolánica. Mediante la producción industrial de un cemento ternario con un factor de clínquer de 0.5 las emisiones de CO₂ asociadas a la manufactura del clínquer pueden ser reducidas entre un 25–35 % con respecto a la práctica diaria sin grandes cambios tecnológicos y con la posible reducción de los costos. Adicionalmente, posibilita incrementar los volúmenes de producción para satisfacer la demanda prevista para los próximos años.
- Según Iliané Méndez Herrada (Méndez Herrada, 2015) el contenido total de SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃, superior al 70 %, permite asegurar que los materiales caracterizados cumplen con las recomendaciones expresadas en la ASTM C618-08 para materiales puzolánicos. Los cementos LC3 de altos volúmenes de sustitución de clínquer con incorporación de los productos de calcinación de las arcillas estudiadas, presentan mejores resultados, con valores de resistencia a la compresión superiores a los de las series equivalentes de morteros elaborados con un 30% de sustitución de CPO por arcillas calcinadas.
- Según Espinosa Borges 2019 para la diseminación de la tecnología del cemento de bajo carbono en Las Tunas la caracterización de las arcillas caoliníticas del Yacimiento Dumañuecos es el primer y más importante paso, dado que, aunque este en la actualidad se encuentra agotado por las explotaciones a las que fue sometido en décadas pasadas agrupa un gran número de escombreras que presentan contenidos de caolín elevados y poseen altas perspectivas para la producción de cemento de bajo carbono.

2.2. Documentación y Muestreo

La revisión bibliográfica previa permitió conocer las características de las arcillas de ambos yacimientos, obteniendo así información de las características de dichas arcillas. Se conoce que la empresa de Materiales de la Construcción de Guantánamo fábrica el cemento a partir de residuos de tubos y conexiones fabricados a partir de la unión de estas arcillas.

Es por ello que se hizo necesario visitar el lugar donde se encuentran estos residuos y tomar muestras de estos para luego hacer los análisis de laboratorio que nos permitirá hacer la caracterización física-química y mineralógica de este material (Figura 7).



Figura 7 : Imágenes de los residuos que son utilizados para la producción de MCS

2.3. Preparación de las muestras y realización de los ensayos **Preparación de las muestras.**

Las muestras fueron desempaquetadas luego fueron trituradas dándole la granulometría según el tipo de análisis que se le realizaría.

2.3.1. Preparación de las muestras para medir el grado de calcinación de residuos cerámicos.

Objetivo

El objetivo de este ensayo es proporcionar un método para determinar si los materiales fueron adecuadamente calcinados, mediante la medición de sus pérdidas por ignición (PPI) entre 105°C y la temperatura a la cual fue calcinada (usualmente 800 °C u 850 °C).

Materiales

Se necesitan aproximadamente 300 g de arcilla calcinada. El tamaño de partículas de la arcilla calcinada no debe exceder los 2 mm. No usar tamiz u otro método de separación para alcanzar esta granulometría. No es necesario secar previamente la muestra.

Equipos

- Mufla capaz de alcanzar una temperatura superior a los 900 °C.
- Pinzas para crisoles y guantes de protección térmica.
- Dispositivo para medir el tiempo.
- Crisoles de alúmina o cápsulas de porcelana capaces de resistir 1000 °C.
- Balanza con precisión de al menos 0.01 g.
- Espátula.

Homogenización de los materiales utilizados

Los materiales utilizados antes de proceder al análisis fueros lavados u luego secados en la mufla para evitar contaminación y lograr la homogenización de estos (Figura 8).



Figura 8 : Morteros y capsulas de cerámica secados en la mufla

Molienda

La molienda se realizó manualmente con la ayuda de un mortero de Ágata, aplicando fuerza y movimientos circulares para triturar la muestra al tamaño deseado. En este proceso se utilizaron pequeñas cantidades de muestra previamente seleccionadas, para lograr un resultado con mayor calidad y homogeneidad. Se empleó la identificación manual para lograr la granulometría deseada llegando al nivel de un talco con un nivel de finura por debajo de las 90 μ , siendo esta la granulometría ideal para este trabajo (Figura 9)



Figura 9 : Mortero de Ágata y muestra en preparación

Pesado

Para el pesado se empleó una balanza analítica SARTORIUS; inicialmente se pesaron las capsulas de cerámica refractaria que se utilizaron en el proceso de secado y calcinación de las muestras para poder, con una resta simple del peso de la capsulas contra el peso total de la muestra y el crisol determinar el contenido neto de muestra contenido en cada crisol. Además, se repitió este proceso de pesado y resta par cada temperatura de calcinación (150, 800, 850) y de esa manera se obtuvieron los valores netos de muestra contenido en cada capsula que fue calcinado (Figura 10).



Figura 10: Balanza analítica SARTORIUS

2.3.2. Preparación para Difracción de Rayos X

Las muestras para Difracción de Rayos X se dividieron en dos grupos, las primeras fueron secadas a 40°C durante doce horas, luego fueron molidas en un molino de anillos en húmedo, usando 15ml de isopropanol y la segunda serie fue tratada a 105°C, para lograr un mejor secado de las muestras sin llegar a comprometer la composición mineralógica.

Las muestras tratadas a 105°C, fueron molidas a mano en un mortero de ágata durante 15 minutos aproximadamente. Se usaron 15 ml de isopropanol para la molienda en húmedo, agregando 5 ml cada 5 minutos. El resultado fue una pasta que luego se secó a 40°C por 12 horas.

2.3.3. Muestras para Fluorescencia de Rayos X

Se tomaron 2g de muestra previamente homogenizada y cuarteada, y se calcinaron durante 2 horas a una temperatura de 950°C. La ceniza resultante, fue colocada para su enfriamiento en una desecadora de vidrio. El método usado fue el de la perla fundida.

2.4. Métodos de análisis

2.4.1. Grado de calcinación de residuos cerámicos.

Procedimiento

Homogeneizar y cuartear la muestra de arcilla calcinada hasta obtener una muestra representativa de aproximadamente 100 g. Calentar 3 cápsulas de porcelana a 850°C durante una hora para eliminar la humedad o cualquier otra impureza volátil presente. Enfriar hasta temperatura ambiente los crisoles o cápsulas de porcelana, empleando para ello una desecadora con un agente desecante adecuado.

Medir la masa de cada crisol o cápsula. Registrar cada valor como C_{seco} . Adicionar entre 10 g y 15 g de arcilla calcinada a los crisoles o cápsulas empleando la espátula. Colocar en la mufla los 3 crisoles o cápsulas con las muestras. Calentar a 105 °C durante 2 horas. Enfriar hasta temperatura ambiente los crisoles o cápsulas con las muestras, empleando para ello una desecadora con un agente desecante adecuado. Medir la masa de cada crisol o cápsula con la muestra. Registrar cada valor como C_{105} . Colocar en la mufla los 3 crisoles o cápsulas con las muestras. Calentar durante 2 horas a 800°C (si la arcilla fue previamente calcinada a 800 °C) o a 850 °C (si la arcilla fue previamente calcinada a 850 °C). Enfriar hasta temperatura ambiente los crisoles o cápsulas con las muestras, empleando para ello una desecadora con un

agente desecante adecuado. Medir la masa de cada crisol o cápsula con la muestra. Registrar cada valor como C_{800} (o C_{850}) (Figuras 11 y 12).



Figura 11: Cápsulas de porcelana y desecadora



Figura 12: Horno eléctrico

Calcular la masa de muestra seca (M_{105}) en cada caso según:

$$M_{105} = C_{105} - C_{seco} \quad \text{Ec. 1}$$

Calcular las pérdidas por ignición, PPI, de la arcilla inicialmente calcinada según una de las siguientes expresiones, en dependencia de la temperatura empleada (800°C u 850°C):

$$PPI = 100 \cdot \frac{(C_{800} - C_{105})}{M_{105}} \text{Ec. 2 (si la arcilla fue calcinada a } 800^{\circ}\text{C)}$$

$$PPI = 100 \cdot \frac{(C_{850} - C_{105})}{M_{105}} \text{Ec. 3 (si la arcilla fue calcinada a } 850^{\circ}\text{C)}$$

Expresar el resultado como el promedio de las 3 determinaciones. *

Reportar los datos en forma de tabla.

Reporte de los resultados

	C _{seco}	C ₁₀₅	M ₁₀₅	C ₈₀₀ (o C ₈₅₀)	PPI, %
Muestra 1					
Muestra 2					
Muestra 3					
Promedio					

* Se debe comprobar, a cada temperatura, la posible presencia de errores burdos en las determinaciones de las masas de los crisoles, secos y con las muestras, mediante la prueba estadística correspondiente al nivel de significación adecuado, usualmente 95 %.

2.4.2. Difracción de Rayos X

Las diferentes series para análisis de la fracción arcillosa, así como las series originales en un equipo Bruker con las siguientes condiciones: radiación CuK α y una rejilla de divergencia de 0,5°. Las muestras fueron analizadas entre los 0 y los 80° (2 θ), a un paso angular de 0,008° y un tiempo por paso de 30 segundos (Figura 24).

Se utilizó el software HighScore Plus, con base de datos de 2015 y PD2 complementaria, utilizando primero, subrutinas programadas y luego información obtenida del Manual de Difracción de Rayos X del Servicio Geológico de los Estados Unidos, así como fichas disponibles en la base de datos www.mindat.org.

2.5. Metodología de Almenares Reyes del 2017:

Esta metodología fue utilizada para evaluar los resultados químicos realizados a las muestras.

2.5.1. Criterios Límites

Esta metodología fue propuesta por Almenares Reyes en el 2017, en ella se toman en consideración los valores límites permisibles de la composición de la arcilla para la fabricación del cemento puzolánico (3).

Tabla 3: Criterios límites

	Criterios límites
Al₂O₃	>18,0 %
CaO	<3,0 %
SO₃	<2,0 %
Al₂O₃/SiO₂	>0,3
PPI	>7,0 %

Aunque la temperatura óptima de calcinación de las arcillas depende de sus tipos mineralógicos específicos, para obtener el cemento de bajo carbono, se recomiendan que las temperaturas de calcinación estén entre los rangos de 750 a 800 °C.

Otras características a controlar serían su granulometría, reactividad y superficie específica.

El carbonato de calcio (rocas calizas ricas en CO₃Ca) que se debe emplear para las mezclas con la arcilla calcinada, no debe tener menos del 70 % de CO₃Ca, controlando también su granulometría.

Debido a que no se pudo determinar el estado de oxidación del azufre se empleó el contenido en elemento y se calculó el posible contenido de SO₃ utilizando el coeficiente establecido internacionalmente y se comparó con la norma NC-Ts 528 del 2007 (Tabla 4).

Tabla 4: Requisitos químicos de la norma NC-Ts 528 del 2007

	Clase de Aditivo Mineral		
	N	F	C
Dióxido de Silicio (SiO ₂) más Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃) más Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃), min. %	70,0	70,0	50,0
Trióxido de Azufre (SO ₃), máx. %	4,0	5,0	5,0
Contenido de Humedad, máx. %	3,0	3,0	3,0
Pérdida por Ignición, máx. %	10,0 ^a	6,0 ^b	6,0

^a Para el caso de puzolanas naturales que contengan en su composición mineralógica contenidos de zeolitas se excluye este requisito, tal es el caso de las tobas zeolitizadas que se emplean como puzolanas y que han demostrado una buena actividad tanto con el cemento como con la cal.
^b El uso de puzolanas clase F que contienen una pérdida por ignición mayor que 12,0 % pueden ser aprobadas por el consumidor si los reportes de cumplimiento de aceptación o los resultados de los ensayos de laboratorio la hacen utilizable.

2. 6. Ensayos realizados a los bloques utilizando como MCS los residuos cerámicos.

Se logró recopilar una serie de ensayos de laboratorios realizados a bloques tipo II (de 150 mm de ancho) donde se utilizó como MSC los residuos cerámicos objetos de estudio en el laboratorio de la Empresa de Materiales de Construcción de Guantánamo. Estos ensayos se realizaron teniendo en cuenta el procedimiento estandarizado para los mismos. Referente a la resistencia a la compresión y la absorción se tuvo en cuenta la norma cubana NC-247-2010 (Especificaciones de calidad, método de ensayo).

La Empresa ha empleado como MCS tanto los residuos de ladrillos cerámicos (estos solo contienen la arcillas del yacimiento Novaliche) y los residuos de las rasillas y tuberías cerámicas (que contienen una mezcla integrada del 50 % de las arcillas del yacimiento Novaliche y de 50 % de las arcillas del depósito Yambeque).

La determinación de la resistencia a la compresión de los bloques se realizó a través de pruebas de bloques huecos de hormigón de (40x15x20) cm.

Estos bloques fueron investigados con tres experimentos:

1. Bloques fabricados sin MCS con 100 % de cemento P-35.
2. Bloques fabricados con 70 por ciento de cemento P-35, 10 % de residuos de ladrillos ceramicos, 15 % de Ca O y 5 % de yeso.
3. Bloques fabricados con 70 por ciento de cemento P-35, 12, 5 % de residuos de rasillas y tubos cerámicos, 12, 5 % de Ca O y 5 % de yeso.

2. 6. 1. Ensayo de resistencia a la compresión

En el ensayo de resistencia a la compresión de cada bloque se sometió a un esfuerzo sobre las dos caras horizontales del mismo. Para ello se recubrió cada cara del bloque con cemento P-350 nivelado correctamente con el nivel. El conjunto se colocó entre los platos de 25x25 cm de la prensa, cuya rótula está centrada sobre el eje de las secciones sometidas a compresión. Los platos se guiarán sin fricción apreciable durante el ensayo para poder mantener siempre la misma proyección horizontal. La placa superior con rótula recibe la carga transmitida por el plato superior de la prensa a través del conjunto de deslizamiento el cual debe ser capaz de oscilar verticalmente, sin apreciable fricción en el aditamento que guía. Después de haber llegado al punto máximo de rotura las agujas del reloj se detienen; esto indica la resistencia del bloque, y después de quitar la presión de la carga retorna automáticamente a la posición inicial.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. caracterización mineralógica de los residuos cerámicos

Las muestras de residuos cerámicos fueron estudiadas mediante DRX para determinar las fases minerales cristalinas presentes en este material (Fig 13). Se constató la prevalencia del cuarzo como mineral predominante en este material con un 38.9 %, este se aportó por la mezcla original siendo estable a la temperatura de calcinación, por lo que no debe de aportar reactividad puzolánica al residuo. Subordinadamente predominan los feldespatos, que en su conjunto son las fases dominantes llegando a representar un 44.6 % del material lo que denota que el material original es de composición melanocrática.

Los feldespatos predominantes son de tipo plagioclasa sobresaliendo la fase albita con un 24.6 % y en menor medida anortita en un 11.6 % y feldespatos alcalinos de tipo sanidina en un 8.4 %. El grupo de los filosilicatos es el tercero en importancia dentro del material representado por un 9.1 % de illita que es la fase representativa de los minerales del grupo de la arcilla, sin reportar minerales del grupo de la caolinita y en menor medida micas de tipo flogopita con un 3.8 %. Se determinaron óxidos de hierro representados por la hematita. Mediante el análisis mineralógico se constató que estos residuos no presentan minerales del grupo de la caolinita, aunque es de destacar que estos materiales al ser residuos de productos cerámicos originados por la mezcla de las arcillas de Novaliche y Yambeque fueron calcinados a una temperatura no conocida. Lo anterior obliga a proponer investigaciones más rigurosas y detalladas para fundamentar su uso como material cementicio suplementario.

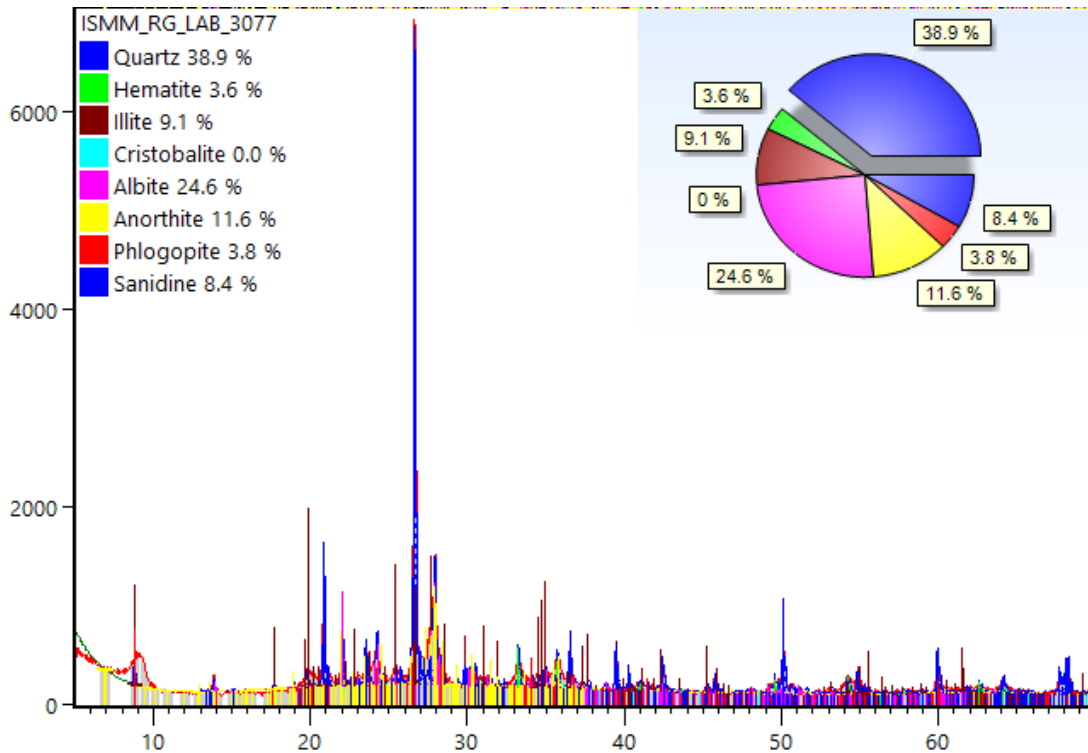


Figura 13. Resultados de la difracción por RX de los residuos cerámicos

3.2. Caracterización química de los residuos cerámicos

Los residuos cerámicos fueron estudiados mediante análisis químico por el método de adsorción atómica, lo que permitió establecer la composición química del material. Estos residuos presentan valores de Ni, Mg y Cr muy bajos. Los contenidos de Fe son relativamente elevados y están relacionados con la presencia de óxidos de hierro dentro de los residuos. Este material presenta más de un 2 % de Ca que no debe de ser nocivo para su uso como material cementicio, pues está asociada a la presencia de plagioclasas cálcicas en el residuo. Los contenidos de Si son relativamente altos y están relacionados con la gran abundancia de silicatos en el material.

Tabla 5. Resultados de la composición de los residuos cerámicos por el método de adsorción atómica de algunos elementos.

Ni	Co	Fe	Mn	Mg	Cr	Ca	Si
0.157	N/D	7.60	N/D	1.59	0.034	2.18	24.73

3.3. Resultados del grado de calcinación de residuos cerámicos.

La (figura 13) muestra los valores obtenidos al calcular la PPI de las muestras calcinadas a 800 y 850 grados, pudiendo observar que las pérdidas oscilan entre los 2% a 3% y que las mayores pérdidas ocurrieron en el rango de los 850 grados. Este material presenta una gran estabilidad térmica lograda por el proceso de cocción del material cerámico.

Aplicando el análisis térmico en las muestras de residuos de cerámica fabricados a partir de la mezcla de las arcillas de los yacimientos Novaliche y Yambeque, se calcularon los valores de pérdida de masa por ignición. Estos residuos cerámicos presentan un grado de cocción elevado, pudiendo indicar que realizó una correcta calcinación de la arcilla, buena para ser usado como Materiales Cementicios Suplementarios.

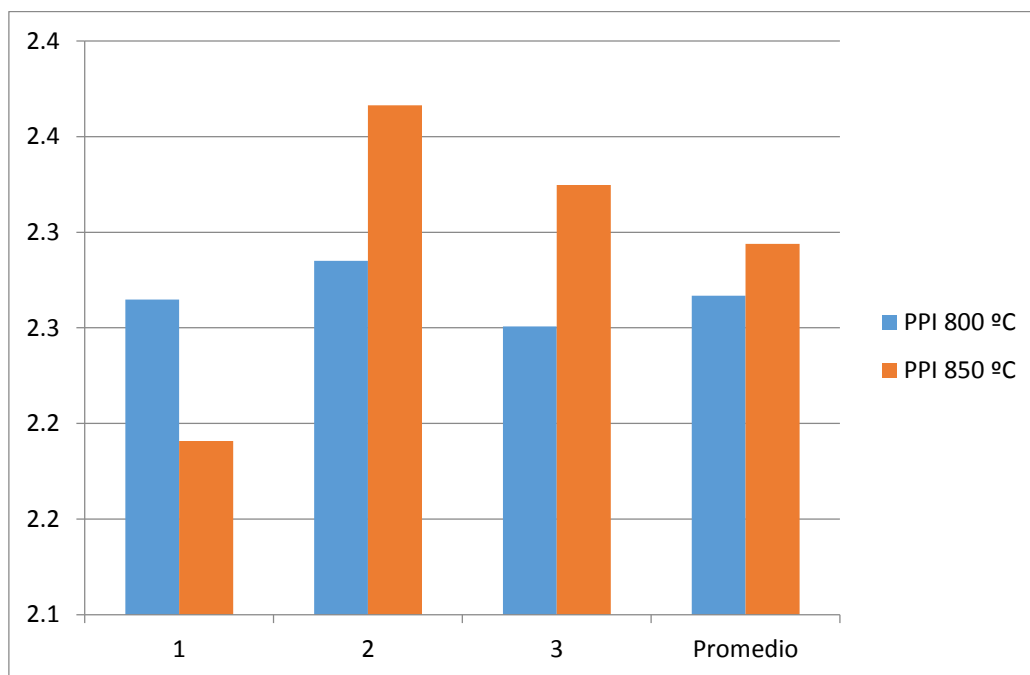


Figura 13: Valores de pérdida de masa por ignición.

3. 4 Resultados de los ensayos realizados a los bloques utilizando como MCS los residuos cerámicos.

Como fue explicado en el capítulo 2 se logró recopilar en el laboratorio de la Empresa de Materiales de Construcción series de ensayos con las variantes siguientes:

1. Bloques fabricados sin MCS con 100 % de cemento P-35.
2. Bloques fabricados con 70 porciento de cemento P-35, 10 % de residuo de residuos de ladrillos, 15 % de Ca O y 5 % de yeso.
3. Bloques fabricados con 70 porciento de cemento P-35, 12, 5 % de residuos de rasillas y tubos cerámicos, 12, 5 % de Ca O y 5 % de yeso.

De estos resultados podemos destacar que luego de calcular el promedio de ensayos de las series de bloques tipo II, de Resistencia a la Compresión de las tres variantes investigadas tenemos los siguientes resultados expresados en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados promedios de resistencia a la compresión de bloques tipo II de las variantes investigadas.

Variante	Resistencia a la compresión, Mpa, a los 28 días
Variante 1	4, 88
Variante 2	3, 95
Variante 3	4, 20

La Norma NC-247-2010 (Especificaciones de calidad, método de ensayo) establece que la resistencia mínima que se debe alcanzar es de 5, 0 Mpa. Puede valorarse en la tabla 6, que no se alcanza en ninguna de las variantes este requisito. Sin embargo es significativo apuntar que en la variante 3 se logra mejorar este indicador.

Se considera que en la variante 2 estamos en presencia de una mezcla de dos arcillas, donde una de ellas, la de Novaliche no tiene la calidad requerida para la fabricación de MCS. Por otra parte la arcilla de Yambeque parece tener una mayor perspectiva, aun cuando por las limitaciones existentes no fue posible contar con muestras de las arcillas naturales. Puede valorarse el empleo de otras dosificaciones donde predomine la arcilla del yacimiento de Yambeque. Estos

trabajos deben ser proyectados a corto plazo, por el interés demostrado por la Empresa de Materiales de Construcción de Guantánamo, la cual está inmersa en lograr la aplicación de estos resultados y otros en que se pueda estrechar la colaboración con nuestra Universidad.

Conclusiones

Mediante análisis químico se constató que las fases minerales presentes en los residuos cerámicos corresponden principalmente a aluminosilicatos, siendo el contenido en ellos de minerales arcillosos poco representativos, especialmente de fases del grupo de la caolinita. La composición química del residuo presenta contenidos relativamente altos de Si relacionados con la prevalencia de aluminosilicatos en el material.

El grado de calcinación de los residuos investigados fue relativamente alto, lo que se vio reflejado con pérdidas que oscilan en un 2 % de material que no fue activo.

No se identificaron fases meta-estables o de recristalización en el material, lo que está relacionado con la presencia de minerales térmicamente estables a la temperatura de activación e indica una disponibilidad deficiente de Si y Al libre en el material.

Estos residuos presentan prestaciones limitadas desde el punto de vista químico y mineralógico, para lograr la correcta activación del material.

Durante la valoración de los ensayos realizados a los bloques tipo II, se considera que en la Variante 2 estamos en presencia de una mezcla de dos arcillas, donde una de ellas, la de Novaliche no tiene la calidad requerida para la fabricación de MCS. Por otra parte la arcilla de Yambeque parece tener una mayor perspectiva, aun cuando por las limitaciones existentes no fue posible contar con muestras de las arcillas naturales.

Recomendaciones

Realizar proyectos de investigación entre la Empresa de Materiales de Construcción de Guantánamo y la Universidad de Moa, para lograr financiamiento con vistas a continuar estas importantes investigaciones.

Valorar a corto plazo el empleo de otras dosificaciones, donde predomine la arcilla del yacimiento de Yambeque, así como lograr establecer el control de la temperatura de cocción de los materiales en el horno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMENARES-REYES, R.S., BASSAS-NOA, P.R. y BETANCOURT-RODRÍGUEZ, S., 2016. Evaluación de arcillas caoliníticas de Moa para la producción de cemento de base clínquer – arcilla calcinada – caliza (LC3) Evaluation of kaolinite clays of Moa for the production of cement based. *Minería y Geología*, vol. 32, no. 4, pp. 63-76.

ALMENARES REYES, R.S., 2017. *Potencialidades de arcillas caoliníticas cubanas para la obtención de materiales cementicios suplementarios*. S.I. UCLV. Tesis doctoral.

ALUJAS, A., 2010. *Obtención de un material puzolánico de alta reactividad a partir de la activación térmica de una fracción arcillosa multicomponentes*. S.I.: Universidad Central "Marta Abreu de Las Villas.

Alfonso, Gonzales, 2018. *Materiales de construcción con residuos industriales de vertederos ecológicamente invasivos*.

AVET, F., SNELLINGS, R., ALUJAS, A. y BEN, M., 2016. Development of a new rapid, relevant and reliable (R-3) test method to evaluate the pozzolanic reactivity of calcined kaolinitic clays. *Cement and Concrete Research*, vol. 85, pp. 1 -11.

BROCARD RIVERA, Y., 2011. *Evaluación de mezclas de arcilla de la región de Centeno y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica*. S.I.: ISMM Dr. "Antonio Núñez Jiménez".

CEMBUREAU, 2013. *The role of cement in the 2050 low carbon economy* [en línea]. Brussels, Bélgica: s.n. Disponible en: <http://www.cembureau.eu>.

CISNERO, A., 2010. *Caracterización Geoquímica De Las Cortezas De Meteorización Alíticas En Cuba Oriental: Zonas De Moa-Sagua De Tánamo*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN NC/CTN 22 DE CEMENTO, 2011. NC 95: 2011 Cemento Portland - Especificaciones. La Habana, Cuba. ,

DÍAZ ÁLVAREZ, A., 2014. *Evaluación de mezclas de arcillas con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos*. Bayamo. Prov. Granma. S.I.: INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA.

DÍAZ CÁRDENAS, YOSVANY; BETANCOURT, DANIA; MARTIRENA, J.F., 2011. *Evaluación del uso del carbonato de calcio como aditivo fundente en la producción de ladrillos de cerámica roja*. S.I.: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

Espinosa, Borges, AE., 2019. *Evaluación de las arcillas caoliníticas de las escombreras del yacimiento Dumañuecos para la producción de cemento de bajo carbono*. Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.

EIA, 2013. *International energy outlook 2013*. [en línea]. Washington, EE.UU: Departamento de Energía. Disponible en: <http://www.eia.gov/ieo/>.

FADEL, M., 2005. *Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.

HENDRIKS, C., WORRELL, E., JAGER, D., BLOK, K. y RIEMER, P., 2004. *Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry*. Interlaken, Suiza: s.n.

HERRERA DEL SOL, D., 2018. *Evaluación de los tipos tecnológicos de arcillas del yacimiento Yaguajay, para la producción de cemento de bajo carbono LC3*. S.I.: Universidad Central Marta Abreu Las Villas.

MÉNDEZ HERRADA, I., 2015. *Evaluación de yacimientos arcillosos cubanos como fuente de materia prima para la producción de aglomerantes con altos volúmenes de sustitución de clínquer*. S.I.: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

MÜLLER, N. y HARNISCH, J., 2008. *A blueprint for a climate friendly cement industry*. Nuremberg, Alemania: Universidad de Ciencias Aplicadas Offenburg.

NC 506: 2013, 2013. *Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la resistencia mecánica*. La Habana, Cuba.

NORMALIZACIÓN, N.N. 22Cement. C.T. de, 2007. NC-TS 528: 2007 Cemento hidráulico-puzolana-especificaciones. , pp. 10.

Parellada, Reyes, O. (2016). *Delimitación de escenarios susceptibles a la licuefacción inducido por terremotos de gran magnitud en la zona sur de la Provincia Guantánamo*. Universidad de Moa.

Palacio, Greco, L., 2005. Concesionario de la cantera de arcillas para la construcción Novaliche. Municipio: Guantánamo. Provincia: Guantánamo.

ROESSLER, C. y STARK, J., 2003. Der Einfluß von Fließmittel auf die Hydratation von Portlandement. *IBAUSIL*. Weimar: s.n., pp. 1 -523.

Soler, R, Artimes, C, Martin Gil., 1992. Informe sobre prospección y exploración orientativa y detalla de los sectores Yambeque y la Clarita.

TIRONI, A., TREZZA, M.A., IRASSAR, E.F. y SCIAN, A.N., 2012. Thermal Treatment of Kaolin: Effect on the Pozzolanic Activity. *Procedia Materials Science*[en línea], vol. 1, pp. 343-350. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2012.06.046>. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211812812000478>.

U.S., 2017. *Geological Survey, Mineral commodity summaries 2017: U.S.* 2017.

Anexos:

Anexo 1: Resultados de la calcinación.

Muestras	Cseco	C105	M105	C800	C850	PPI 800 °C	PPI 850 °C
1	7,0122	10,9586	3,9164	10,8699	10,8728	2,264835	2,1908
2	7,9217	11,8051	3,8834	11,7164	11,7132	2,284981	2,3665
3	6,5236	10,4466	3,923	10,3583	10,3554	2	2,32
Promedio	7,1525	11,0701	3,9076	10,9815	10,9805	2,27796537	2,3

Anexo 2: Composición química de las arcillas Yacimiento Yambaque. Fuente: Informe sobre prospección y exploración orientativa y detallada de los sectores Yambaque y La clarita 1992.

Si O2	Al O2	Ti O2	Ca O	Mg O	Fe2O3	Na2O	K2O	S O3	PPI
48.85	19.58	1.18	0.12	0.70	17.33	0.28	0.05	0.1	10.78
52.48	17.84	0.92	0.27	2.00	13.54	0.22	0.06	0.1	10.67
43.82	26.35	1.16	0.1	0.95	13.94	0.42	0.05	0.1	12.93
53.13	21.22	0.91	0.1	1.40	12.03	0.05	0.05	0.1	10.47
55.68	17.84	0.72	0.15	2.25	10.99	0.28	0.15	0.1	10.33
47.58	23.11	0.94	0.1	1.10	13.91	0.30	0.05	0.1	11.62
57.68	16.98	0.71	0.27	1.80	10.41	2.09	0.34	0.1	7.92
51.31	20.41		0.15	1.45	13.16	0.52	0		
42.64	26.89	1.20	0.1	0.57	15.42	0.26	0.13	0.1	11.89
59.64	21.00	1.16	0.1	0.33	8.69	0.05	0.09	0.1	8.91
50.05	24.18	1.24	0.1	0.55	12.18	0.10	0.08	0.1	10.10
52.99	19.00	0.93	0.1	2.05	13.18	1.12	0.89	0.1	9.08
60.29	16.21	1.10	0.1	0.57	11.59	0.05	0.16	0.1	8.68
57.14	16.38	1.04	0.16	1.20	12.98	0.19	0.58	0.1	8.64
57.80	15.72	1.04	0.34	1.43	12.98	1.16	1.91	0.1	7.50
52.92	17.52	1.18	0.1	0.77	15.72	0.05	0.18	0.1	10.30
59.00	15.62	0.84	0.57	1.63	10.92	2.20	1.86	0.1	6.30
49.78	23.43	2.36	0.26	1.77	10.62	0.05	0.21	0.86	10.64
48.85	19.58	1.18	0.12	0.70	17.33	0.28	0.05	0.1	10.78
52.48	17.84	0.92	0.27	2.00	13.54	0.22	0.06	0.1	10.67
43.82	26.35	1.16	0.1	0.95	13.94	0.42	0.05	0.1	12.93
53.13	21.22	0.91	0.1	1.40	12.03	0.05	0.05	0.1	10.47
55.68	17.84	0.72	0.15	2.25	10.99	0.28	0.15	0.1	10.33
47.58	12.11	0.94	0.1	1.10	13.91	0.30	0.05	0.1	11.62
57.68	16.98	0.71	0.27	1.80	10.41	2.09	0.34	0.1	7.92

