



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

Título: Caracterización de las tobas vítreas del sector 3 del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como árido ligero.

Autor: Osvaldo Rivero Benítez

Tutor: Prof. Dr.C. Carlos Leyva Rodríguez

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Osvaldo Rivero Benítez autor de este trabajo de diploma y Carlos Leyva Rodríguez tutor de la tesis, declaramos la propiedad intelectual de este trabajo al departamento de Geología de la Universidad de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

Para que así conste firmamos la presente a los ____días del mes de _____ del 2020.

Osvaldo Rivero Benítez

Prof. Dr. C. Carlos Leyva Rodríguez

Pensamientos

*La ciencia humana consiste más en destruir
errores que en descubrir verdades.*

Sócrates

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado muy especialmente a las personas más importantes en mi vida y a las principales de que haya sido posible mi paso por la universidad. Ellos son mis padres Tania Benítez Días y Osvaldo Rivero también lo dedico desde lo más profundo de mi corazón a mi hermana Beatriz, a mi esposa Yanieska y a mi razón de ser, mi hijo Iam Gael, al cual quiero que le sirva como futuro ejemplo.

Muchas Gracias.

Agradecimientos

Primeramente le agradezco mucho a dios por no dejarme fallar y por mantenerme siempre con el camino limpio en todo momento de mi vida.

Con toda sinceridad y honestidad le agradezco mucho a mi tutor el Dr. Carlos Leyva Rodríguez por ser la fuente principal de donde salió este trabajo, ya que sin él no hubiese sido posible la realización del mismo, también al Ing. Reinier que estuvo en todo momento al tanto de la realización de este.

Desde lo más profundo de mi corazón le agradezco muchísimo a mi mama, a mi papa, a mi hermana y a mi abuelita por brindarme su ayuda y apoyo cuando los necesite y por siempre estar al tanto de la realización de este trabajo.

A mis tíos Mónica y Evaristo mis primos Yanier y Carlitos por brindarme su ayuda y comprensión cuando las necesite.

A mis compañeros que me ayudaron bastante y que siempre estuvieron al tanto de la realización del presente trabajo.

A todo el colectivo de profesores del departamento de geología por el sacrificio y dedicación en todos estos años de estudio.

En general le agradezco mucho a todos mis compañeros de aula y a todas aquellas personas que de una manera u otra estuvieran involucradas con la realización de este trabajo y las que fueron capaces de brindarme su ayuda cuando las necesite. Mis más sinceras disculpas a los que no mencione, pero aun así le agradezco.

A todos muchas gracias.

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta la caracterización química y mineralógica de las tobas vítreas del sector número 3 del yacimiento Sagua de Tánamo. Se evaluaron las propiedades físico-mecánica de los productos de estas rocas al ser empleadas como árido, sustituto del árido grueso (granito 3/8) en la fabricación de bloques huecos de hormigón. A estos bloques se les realizaron ensayos según lo establecido por la norma (NC 247: 2010 - Bloques huecos de hormigón - Especificaciones). Los bloques se hicieron en la Empresa UMBRALES, pero los ensayos se realizaron en el laboratorio de la Empresa de prefabricados de Moa (Base de apoyo) Se realizaron además ensayos de absorción, que comparados con los patrones duplican el porcentaje de estos, aunque se considera normal tratándose de materiales con mayor porosidad, también se le realizó la determinación de la masa.

Palabras claves:

Árido, bloque hueco de hormigón, árido ligero, tobas vítreas.

ABSTRAC

In the present work the chemical and mineralogical characterization of the vitreous tuffs of the Sagua de Tánamo deposit is presented. The physical-mechanical properties of the products of these rocks were evaluated when they were used as aggregate, a substitute for coarse aggregate (3/8 granite) in the manufacture of hollow concrete blocks. These blocks were tested where they were found to comply with the provisions of the standard (NC 247: 2010 - Hollow concrete blocks - Specifications). It was demonstrated through the compression test carried out in the laboratory of the UEB UMBRAIES, that the resistance of the blocks meets the established standard, despite being a non-traditional material for these uses. Absorption tests were also carried out, which compared to the standards tripled the percentage of these, although it is normal in the case of porous materials.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| MARCO TEÓRICO..... | 14 |
| CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO | 23 |
| 1.1. Principales características físico-geográficas del entorno..... | 23 |
| 1.1.1. Relieve..... | 23 |
| 1.1.2. Clima | 23 |
| 1.1.3. Vegetación..... | 24 |
| 1.2. Características geológicas regionales..... | 24 |
| 1.2.1. Geología Regional | 25 |
| 1.2.2. Tectónica Regional | 34 |
| 1.3. Caracterización del yacimiento de tobas vítreas de Sagua de Tánamo. | 35 |
| 1.3.1. Ubicación geográfica | 35 |
| 1.3.2. Geología del yacimiento | 36 |
| 1.3.3. Estratigrafía | 37 |
| 1.3.4. Tectónica | 38 |
| 1.3.6. Composición mineralógica y petrográfica | 38 |
| 1.3.7. Complejidad geológica | 40 |
| 1.3.8. Tipo genético | 40 |
| CAPÍTULO II. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS | 41 |
| 2.1. Recopilación de la información | 41 |
| 2.1.1. Antecedentes..... | 42 |
| 2.2. Realización de itinerarios | 44 |
| 2.3. Toma y tratamiento de las muestras | 44 |
| 2.4. Métodos y técnicas analíticas empleadas en la investigación..... | 45 |

| | |
|---|----|
| 2.4.1. Determinación de la resistencia mecánica | 45 |
| 2.4.2. Ensayo de resistencia a la compresión | 45 |
| 2.4.3. Preparación de los materiales para la conformación de los bloques huecos de hormigón..... | 48 |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS ALCANZADOS | 50 |
| 3.1. Características generales de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo..... | 50 |
| 3.2. Composición mineralógica del yacimiento vidrio volcánico Sagua de Tánamo..... | 50 |
| 3.3. Análisis de los resultados obtenidos en bloques huecos de hormigón | 51 |
| 3.3.1. Resultados de las mediciones realizadas y la determinación del peso a los bloques huecos de hormigón | 52 |
| 3.3.2. Resultados del ensayo de resistencia a compresión..... | 55 |
| 3.4. Análisis de los resultados del ensayo de absorción | 59 |
| 3.5. Valoración socioeconómica y ambiental | 61 |
| CONCLUSIONES..... | 63 |
| RECOMENDACIONES | 65 |
| BIBLIOGRAFÍA | 66 |
| ANEXOS | 68 |

INTRODUCCIÓN

En muchos países subdesarrollados la situación de la vivienda junto a la necesidad de desarrollar otras obras sociales es un problema que crece gradualmente a medida que pasan los años, por el deterioro constante de las existentes y el azote de fenómenos naturales que, sin dudas, han puesto en desventaja las posibilidades de una respuesta rápida a tal problema. Todo esto unido a la notable escasez de materiales de construcción existente, incluyendo nuestro país.

Con el objetivo de contribuir a darle solución a la problemática antes expuesta, se están realizando diferentes investigaciones e inversiones por parte del estado cubano. En este contexto la utilización de las tobas vítreas de la región de Sagua de Tánamo, como árido ligero, contribuirá desde una perspectiva local y regional a la solución de problemas nacionales.

Los áridos son un material insustituible para la sociedad actual, porque estos se emplean en cantidades muy importantes en todos los ámbitos de la construcción, ya sea en vías de comunicación, obras de infraestructura, equipamientos, vivienda, industria química, etc.

Desde el punto de vista de la seguridad, los hormigones fabricados con áridos ligeros conservan un 80% de la resistencia mecánica a temperaturas superiores a 600°C. A este factor hay que sumarle un mayor poder aislante, lo cual mejora todavía más sus cualidades frente al fuego.

Al árido ligero no le afecta las sustancias químicas y es altamente resistente a las heladas y a los cambios bruscos de temperaturas.

Debido a que su principal propiedad es la ligereza, sus aplicaciones más directas se hallan en la construcción para la fabricación de materiales aislantes: paneles, bloques, bovedillas, etc. Una buena aplicación consiste en la rehabilitación de antiguas cubiertas de fibrocemento, para lo cual se prepara un hormigón con árido ligero en lugar del denso convencional, logrando dos objetivos: Conseguir un buen aislamiento térmico y eliminar el problema medioambiental que supone al fibrocemento en climas calurosos y secos (Hidalgo, 2019).

La densidad del árido ligero oscila entre la mitad y un tercio de la densidad del árido ordinario, lo cual supone que el nuevo hormigón sea mucho más liviano y la estructura de la edificación más ligera y barata. Paralelamente, su gran porosidad interna supone un gran poder de aislamiento térmico y acústico.

Los ensayos realizados llevan a pensar en la posible viabilidad de los materiales seleccionados para la producción de hormigones ligeros. La resistencia alcanzada en las pruebas permite la producción de hormigones con la resistencia suficiente para utilizarse en la fabricación de hormigón estructural. La reducción considerable de la densidad lo hace muy prometedor para zonas con alto riesgo sísmico (Anuario de Jóvenes Investigadores Vol. 9, 2016; Sánchez et al., 2016)).

Situación Problémica:

Desconocimiento de las propiedades físico mecánicas de los productos conformados con áridos de tobas vítreas del sector 3 del yacimiento de Sagua de Tánamo, lo cual limita su utilización para estos fines. Siendo este el sector donde actualmente se realizan las extracciones.

Problema:

El insuficiente conocimiento de las propiedades físico mecánicas de las tobas vítreas del sector 3 del yacimiento de Sagua de Tánamo para ser empleada como áridos ligeros.

Objetivo:

Caracterizar las propiedades físico-mecánicas de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo para ser empleadas en productos de la construcción como áridos ligeros.

Hipótesis:

Si se evalúan las propiedades físico-mecánicas de los productos fabricados con áridos ligeros de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo será posible su utilización en la industria de materiales locales como sustituto alternativo del árido convencional.

Objeto de estudio:

Tobas vítreas del sector 3 del yacimiento Sagua de Tánamo.

Objetivos específicos:

- Realizar una revisión bibliográfica de los materiales relacionados con el tema de investigación.
- Caracterizar las tobas vítreas del sector 3 del yacimiento Sagua de Tánamo.
- Caracterizar el comportamiento de las tobas vítreas al ser empleada como árido ligero para la construcción de bloques huecos de hormigón.

Tareas de la investigación:

- Análisis bibliográfico de trabajos relacionados con el objeto de la investigación.
- Preparación mecánica de las materias primas.
- Elaboración de los bloques huecos de hormigón.
- Realización de los ensayos en los bloques para determinar las propiedades físico-mecánicas.

MARCO TEÓRICO

Hormigón Estructural

El uso fundamental del hormigón liviano busca reducir la carga muerta de una estructura de hormigón, lo que permite a su vez que el diseñador estructural reduzca el tamaño de columnas, zapatas y otros elementos de cargas en la cimentación particularmente (Guzmán and Alcívar 2010).

Este sería un beneficio financiero directo capaz de cuantificarse con bastante aproximación al reducirse el consumo de acero y el peso de la estructura en sí, debido a un ahorro en el diseño de la cimentación y de la estructura de soporte, ofreciendo al arquitecto o ingeniero una mayor libertad de planeación, debido a un mayor espaciamiento entre columnas y mayores luces (Guzmán and Alcívar 2010).

Se encuentran además otros beneficios como por ejemplo la reducción en peso produce un ahorro en el transporte de los materiales con respecto al volumen, además se facilitan las operaciones en el sitio de la construcción debido a que hay menos fatiga humana y al mismo tiempo esto ayuda a que se aumente el rendimiento de cada trabajador, dando lugar a una edificación más rápida y así a una reducción en el costo (Guzmán and Alcívar 2010).

En edificios, el hormigón estructural liviano proporciona una estructura de concreto con mayor calificación de resistencia al fuego, además la porosidad del agregado liviano proporciona una fuente de agua para el curado interno del hormigón que permite el aumento continuo de la resistencia y durabilidad del hormigón (Guzmán and Alcívar 2010).

Aislante Térmico

Un aislante térmico es un material usado en la construcción y caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura. Una de las características del hormigón liviano es el valor alto de aislamiento térmico, el cual aumenta o disminuye en relación inversa con la densidad del material (Guzmán and Alcívar 2010).

La conductividad es la característica por la cual el calor pasa de un material solido a otro cuando están en contacto entre sí, sabemos que el aire es un mal conductor de calor, por lo tanto los hormigones livianos, que son porosos por excelencia lo cual indica que encierran cantidades considerables de aire, los convierte en buenos aislantes térmicos (Guzmán and Alcívar 2010).

Prefabricados

Los prefabricados de hormigón son elementos compuestos de hormigón, realizados en una fábrica o complejo industrial sobre el terreno y, posteriormente, instalados, en su posición final. Los Productos prefabricados de hormigón son ampliamente conocidos y utilizados, vienen en todo tipo de diseños para utilizar. El uso más común de prefabricados de hormigón con agregados de peso ligero y del hormigón aireado es en forma de bloques de mampostería utilizados para la construcción de muros de carga y sin carga o muros divisorios (Guzmán and Alcívar 2010).

Bloques huecos de hormigón

Los bloques huecos de hormigón es el material moderno más popular para construir todo tipo de edificios, como casas, edificios de oficinas, fábricas y hasta edificios de varias plantas sin necesidad de soporte estructural adicional. El buen bloque de hormigón es sinónimo de economía y versatilidad, aplicándose a todas las formas constructivas. Es adaptable, creativo y relativamente fácil de usar.

Los bloques de hormigón soportan altas cargas, resisten el fuego, tienen caras y lados bien formados y son de la más alta calidad. Están disponibles en cientos de formas, tamaños, colores resistentes a la intemperie y alta estabilidad ante la exposición a la luz de sol y agentes climáticos.

La experiencia internacional en construcción de bloques de hormigón ha demostrado el excelente comportamiento de este sistema constructivo al que se asigna cada vez mayor preferencia sobre otros materiales usados en la construcción como consecuencia de las conocidas ventajas que resultan de su empleo y que en esencia se pueden resumir en resistencia, durabilidad, economía y velocidad constructiva. Esto unido a la simplicidad de fabricación

hace de este sistema constructivo uno de los procedimientos más completos para resolver el problema de las construcciones, en las cuales todas las ventajas de aplicación de los bloques son más evidentes al permitir una economía total en materiales y mano de obra en la fabricación de piezas hasta su colocación que difícilmente puede alcanzarse con otros sistemas.

Según la NC 247- 2010 - Bloques huecos de hormigón. Especificaciones II, los bloques huecos de hormigón son piezas prefabricadas a base de cemento, agua, áridos finos y/o gruesos, naturales y/o artificiales, con o sin aditivos, sin armadura alguna con densidades normalmente comprendidas entre 1 700 kg/m³ y 2200 kg/m³.

Los bloques se fabrican vertiendo una mezcla de cemento, arena y agregados pétreos (normalmente calizos) en moldes metálicos, donde sufren un proceso de vibrado para compactar el material.

Áridos o agregados: Son aquellas materias de forma granular o fibrosa que, con preparación especial o sin ella han de ser unidos entre sí por un aglomerante, para conformar los hormigones y morteros (Guerra 2008).

Principales tipos de áridos

Existen diversas clasificaciones de los áridos, siendo las más empleadas las que los agrupan según su origen y según su tamaño. Los áridos según su origen se clasifican en artificiales y naturales; y según su tamaño en finos y gruesos (Guerra 2008).

- ✓ **Áridos naturales:** se obtienen producto de la descomposición o trituración de las rocas. La descomposición o meteorización de las rocas se produce por la acción de los agentes naturales como: agua, viento, temperatura, clima, fauna y flora, que con el tiempo van descomponiendo la roca en granos de pequeños tamaños. Muchas veces los tamaños de estos granos son los que usualmente se emplean en la confección de morteros y hormigones, por ejemplo: arena de mar, arena de río, gravas, etcétera. El otro proceso para la obtención de árido naturales es la trituración. Es un método artificial, por medio de molinos se trituran las rocas sólidas en los

yacimientos, hasta alcanzar los tamaños adecuados, clasificándolos según sea su destino final (Guerra 2008).

- ✓ **Áridos artificiales:** Se preparan con productos diversos en estado pulverulento o pastoso, para comunicarles fácilmente la forma y se endurece por proceso físico-químicos como ejemplo: escoria, ladrillo triturado, pizarra dilatada, ejemplo: Perlita (Guerra 2008).

Los áridos en el hormigón

Los áridos constituyen la mayor parte de la masa en el hormigón, pudiendo llegar hasta 80-85 % en peso, de ahí que las propiedades físico-químicas y mineralógicas del árido tienen una profunda influencia en la resistencia, elasticidad y demás propiedades del hormigón. Las propiedades deseables de un árido para utilizarlo en hormigón son: que sea químicamente inerte, duradero, duro, resistente a los esfuerzos mecánicos, de forma aproximadamente cúbica después de triturado y capaz de dar una buena adherencia con la pasta de cemento. El tamaño, abundancia y continuidad de los poros del árido es su más importante propiedad física. El tamaño y la naturaleza de los poros afectan la resistencia a los esfuerzos mecánicos de los áridos, la absorción y la permeabilidad. Esta última a su vez da idea de la resistencia a los ataques químicos y la resistencia a las heladas, que tenga un árido. La mayor parte de las propiedades de los áridos son atribuidas directamente a los componentes de las rocas, esta propiedad depende en gran medida del proceso tecnológico utilizado para la fabricación del árido. Algunas otras propiedades que pueden tener importancia especial tales como: Peso específico, propiedades térmicas, resistencia a la abrasión, granulometría, entre otras (Guerra 2008).

Peso específico: esto puede influir en la elección de un árido donde el peso sea un factor a considerar, por ejemplo, los paneles de aislamiento sonoro, donde interesan pesos específicos bajos o una presa de gravedad donde interesan pesos específicos altos, por motivos de seguridad y económicos. El peso específico de los áridos comunes varía desde 2,2 en el caso de las cuarcitas, a 2,9 en el caso de los gabros. Las propiedades térmicas, como el calor específico de los áridos, pueden tener importancia en ciertos trabajos tales como grandes presas y estructuras masivas similares. La conductividad térmica

tiene importancia desde el punto de vista de su resistencia al fuego y en la construcción de algunas estructuras tales como chimeneas de hormigón reforzado. En el hormigón se utilizan por lo general áridos con un tamaño que no rebase los 76 mm. Para poder garantizar una granulometría adecuada en el hormigón, se producen en las canteras diferentes grupos de áridos donde cada grupo contiene varias fracciones de tamaño. Convencionalmente se han clasificados en áridos finos (arena) formados fundamentalmente por partículas menores que 4,6 o 5 mm y áridos gruesos (granitos, gravillas, piedras, macadán) formados por partículas fundamentalmente mayores que estos tamaños (Guerra 2008).

Hormigón Liviano: Se designa convencionalmente como hormigones livianos a aquellos que producen una densidad que fluctúa entre 300 kg/m³ y 1900 kg/m³, ya que los normales presentan una densidad normal de 2400 kg/m³ (Guzmán and Alcívar 2010).

Por su tipo de aplicación el hormigón liviano se clasifica en:

- Hormigón de Relleno
- Hormigón Aislante
- Hormigón Estructural o de alto desempeño

Uso y Aplicaciones

Las aplicaciones que se le pueden dar al hormigón liviano se basan exclusivamente en el diseño que se le dé además de los agregados escogidos para la elaboración del mismo (Guzmán and Alcívar 2010).

El hormigón liviano es ideal para la construcción de elementos secundarios en edificios o viviendas, que requieren de ser ligeros a fin de reducir las cargas muertas; para colar elementos de relleno que no soporten cargas estructurales; para la construcción de vivienda con características de aislamiento térmico (Guzmán and Alcívar 2010).

Generalidades de las tobas vítreas o vidrio volcánico

Se conoce en Cuba como “vidrio volcánico” a la toba vítrea cuya fase amorfa constituye más del 50 % del material rocoso que la forma. Esta roca generalmente es toba vitroclástica o vitrocrystaloclastica, conteniendo menos

del 50 % de montmorillonita, con cantidades pequeñas de carbonatos, feldespato y cuarzo. Se caracteriza por ser muy ligera, porosa y de baja resistencia mecánica. Es abrasiva al tacto y se forma como resultado de la deposición en mares someros, de salinidad normal, de detritos expulsados durante las erupciones volcánicas. Son de composición media hasta ácida, con un 60 % de sílice como promedio. La toba vítrea se relaciona con otras rocas volcánicas silíceas, que son las que comúnmente en el mundo reciben el nombre de vidrio volcánico, las une su comunidad de origen y la semejanza en sus características físico – químicas y campos de uso en la industria. Entre ellas tenemos la pumita (piedra pómez), la perlita y la obsidiana, que son de composición ácida y con un 70 % de sílice como promedio (IGP, 2011).

Todo el vidrio volcánico, incluyendo el de la toba vítrea, se forma a partir de magmas ricos en sílice, que se vuelven por ello cada vez más viscosos, lo cual dificulta la cristalización de los minerales presentes, por lo que tienden a solidificarse en forma amorfa (de vidrio). Otro factor es el enfriamiento brusco que experimenta el material durante el proceso eruptivo, que para los de composición media y principalmente ácida, tienen carácter explosivo, durante el cual, el mismo es expulsado en forma de fragmentos y partículas de muy variados tamaños (desde bombas volcánicas hasta cenizas muy finas), los que se enfrían rápidamente en el aire. Todo esto explica por qué el vidrio ácido y medio abunda mucho más que el de composición básica, al que se le denomina traquita (IGP, 2011).

Usos de las tobas vítreas o vidrio volcánico en la industria nacional

En la actualidad se emplea la toba vítrea del yacimiento Guaramanao en la producción de limpiador doméstico (GEOLIMP) y de lijas, ambos productos comercializados a nivel nacional (IGP, 2011).

Existe el interés por parte de la firma Suchel Proquimia en obtener un tipo de pasta limpiadora, como sustituto del producto Limpiol, importado de Guatemala.

Los principales usos de esta materia prima son:

1. Filtrante de cerveza, jugo de henequén, ron y vino.
2. Medio filtrante en la industria azucarera.

3. Floculante en la potabilización de aguas superficiales.
4. Limpiador doméstico.
5. Como material puzolánico para cemento.
6. Aislante térmico en la industria cerámica y en otras industrias como el níquel.
7. Material filtrante en la purificación de acetileno.
8. Lozas antiácidas.
9. Medio filtrante en la planta de cloro sosa.
10. Relleno de plástico.
11. Decapado de metales.
12. Sustitución del feldespató en la industria del vidrio.

Atendiendo a sus parámetros físicos – químicos pueden ser utilizadas en:

1. Abrasivo en los ralladores de las cajas de fósforos.
2. Fabricación de losas de falso techo.
3. Fabricación de hormigón celular (Siphorex).
4. Para ladrillos aligerados sin quemar.

Medio filtrante en la industria azucarera

El vidrio volcánico probado como agente filtrante en el proceso de refinación de azúcar, se comportó de modo similar a cuando se realiza con Decalite como se muestra en la *Tabla 1* (IGP, 2011).

Tabla 1: Resultado de los análisis de laboratorio realizados a los filtros con ambos filtrantes

| Parámetro | Filtro 4 | Filtro 5 |
|-----------|----------|------------------|
| | Decalite | Vidrio volcánico |
| Brig. | 56,04 % | 55,06 % |
| Ph | 6,9 | 6,9 |
| Red. | 0,13 | 0,14 |
| Color | 14,67 | 14,93 |
| Cenizas | 0,60 | 0,60 |
| Pol. | 54,25 | 54,25 |
| Pza. | 96,80 | 96,77 |

La delegación provincial del Ministerio de la industria azucarera (MINAZ) de Santiago de Cuba realizó determinaciones de color en azúcares refinados, crudos, y blanco directo, con muestras de treinta y ocho las que fueron tratadas con toba vitroclástica y tierras de infusorios, determinándose que las tobas vítreas podían usarse como filtrantes en refinerías y fábricas de azúcar blanco directo, no descartándose la posibilidad de usarlo también en azúcar crudo (IGP, 2011).

Medio filtrante en la industria alimenticia

Pruebas realizadas en la filtración de aceite comestible se demostró que la zeolita natural y la zeolita expandida con vidrio volcánico sustituye las tierras decolorantes y filtrantes que actualmente se importan. Se obtuvo un producto con calidad y disminuyó el tiempo de filtrado (IGP, 2011).

Como floculante

Existe una investigación realizada en 1990 sobre el empleo del vidrio volcánico y otros materiales naturales existentes en el país como floculante en el tratamiento de agua para el consumo humano, la cual permite el ahorro de sulfato de aluminio y cuyos resultados están recogidos en un artículo publicado

en la revista Ingeniería Hidráulica (Volumen XV, N° 2 de 1994, pp. 11 – 15). Para este estudio se utilizaron aguas de las presas La Zarza y Bacuranao, que abastecen a la planta potabilizadora Norte Habana. Dichas aguas son hidrógeno carbonatadas cálcicas de alcalinidad media, turbiedad y color altos, con bajo contenido de materia orgánica. Estos estudios se realizaron manteniendo la relación coagulante/floculante en 1:1, obteniéndose una alta remoción de la turbiedad, del Fe y del Mn, y buena para el color y la materia orgánica. El agua utilizada poseía una turbidez de 100 NTU 2; pH = 8; color = 25, 30; contenido de materia orgánica = 16,3 %; contenido de Fe = 1,84 %; contenido de Mn = 0,98 %, siendo los resultados obtenidos para el vidrio volcánico los siguientes en la *Tabla 2* (IGP, 2011).

Tabla 2: Resultados obtenidos para el vidrio volcánico.

| Dosis | 16 mg/l |
|---------------------------------|----------------|
| Índice de Willcomb | 8 |
| Turbiedad del agua | 3,9 NTU |
| Remoción de la turbiedad | 95,0 % |
| pH del agua | 7,8 |
| Color | 5 – 10 |
| Remoción del color | 75,0 % |
| Materia orgánica en el agua | 7,9 % |
| Remoción de la materia orgánica | 52,0 % |
| Contenido de Fe | 0,15 |
| Remoción del Fe | 92,0 % |
| Contenido de Mn | 0,05 |
| Remoción del Mn | 95,0 % |

El porcentaje de ahorro de sulfato de aluminio logrado es del 33 %.

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

En el presente capítulo se muestra información referente a las condiciones geológicas y de formación del yacimiento de tobas vítreas de Sagua de Tánamo, así como sus características geográficas más destacadas. Los datos representados se han obtenido de investigaciones precedentes en las áreas de estudio.

1.1. Principales características físico-geográficas del entorno

1.1.1. Relieve

Son notables las montañas de cimas aplanadas, esencialmente en el área de propagación de las ultrabasitas, separadas por llanuras y son el resultado de ascensos geotectónicos moderados e intensos con amplitudes que denotan claramente escalones morfoestructurales que en la zona es de montañas pequeñas (300-500m).

1.1.2. Clima

El clima constituye un factor de obligada utilización en la evaluación del medio físico para la planificación territorial de las actividades en condiciones de montaña por la fragilidad de estos ecosistemas.

Los factores climáticos predeterminan la influencia de las lluvias, las variaciones de temperatura y la acción de los vientos, sobre la erosión, activación de los deslizamientos, torrentes de lodos, cambio en las propiedades de las rocas, traslado de polvo y desechos hacia los poblados, así como es importante en la elaboración de modelos racionales de lucha contra fenómenos desfavorables que puedan surgir.

Atendiendo a la ubicación geográfica de nuestro país y a su posición altimétrica, la variable climática que mayor incidencia tiene sobre las afectaciones que se producen en los suelos de las montañas, son las lluvias, pues las oscilaciones de temperatura, tanto a nivel de las estaciones del año como en función de la altura, no son significativas en comparación con la influencia de estas.

El clima, además de constituir uno de los principales componentes del paisaje físico – geográfico, influye de forma favorable o no en numerosas actividades

socioeconómicas. Esta influencia, en primer lugar, se caracteriza por su carácter complejo, dado por la simultaneidad de la acción de los diferentes elementos climáticos, lo que tiene aplicación particular en la agricultura y en general en las condiciones de vida de la población. Una de las limitaciones más serias para las explotaciones agrícolas corresponde a factores climáticos, tales como períodos de sequía prolongada y precipitaciones de gran intensidad mal distribuidas

1.1.3. Vegetación

En la mayor parte del territorio es bastante densa, en general está representada por bosques subtropicales compuestos por distintos tipos de árboles, matorrales y pinares.

1.2. Características geológicas regionales

Desde el punto de vista geológico el área se encuentra dentro de los límites del denominado Bloque Oriental Cubano, el cual es el más oriental de los tres grandes bloques que constituyen la estructura geológica cubana, con límites muy bien definidos por los siguientes sistemas de fallas regionales (figura 1.1):

- Sistema de fallas Cauto-Nipe al oeste-noroeste.
- Falla transformante de Bartlet al sur.
- Falla de sobrecorrimiento Sabana al norte.

Estas fallas se cortan formando un triángulo. Además, el Bloque Oriental Cubano está muy cerca del límite entre las Placas Norte Americana y Caribe, posición esta que lo hace muy vulnerable a movimientos sísmicos.

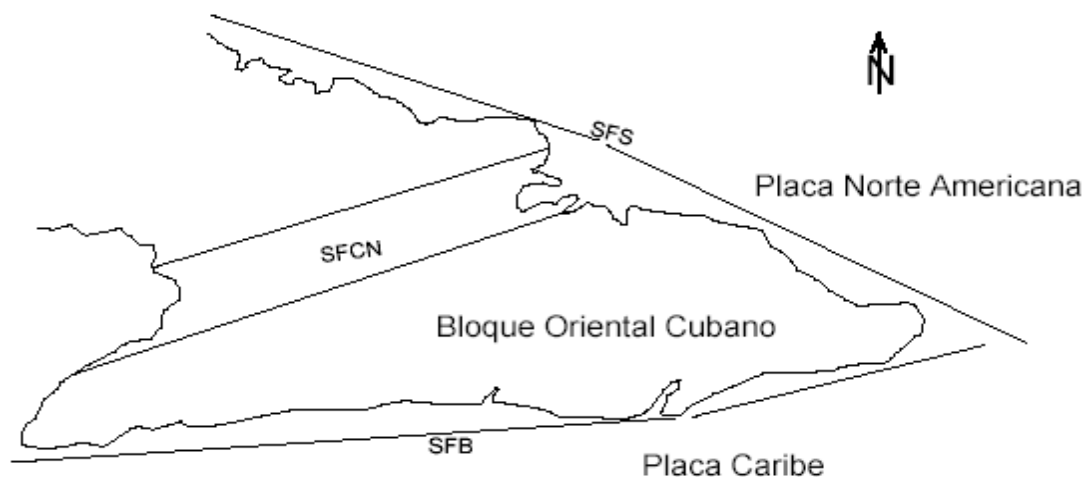


Figura 1: Mapa de ubicación geológica, nombre de los sistemas de fallas: SFS, Sistema de Falla Sabaneta, SFB, Sistema de falla Bartlett; SFCN, Sistema de falla cauto-nipe.

1.2.1. Geología Regional

En 1996, Iturralde Vinent, reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales que la integran: el cinturón plegado y el neoaútóctono.

El cinturón plegado, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfizados de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas.

En Cuba Oriental las unidades continentales están representadas por el Terrero Asunción, compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, la Fm. Sierra Verde y la Fm. La Asunción, constituidas por materiales metaterrígenos y metacarbonatados respectivamente, del Jurásico Superior – Cretácico Inferior.

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco), las secuencias de las cuencas de piggy back del Campaniense Tardío- Daniense, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de piggy back del Eoceno Medio- Oligoceno. El Neoaútóctono está constituido por materiales terrígenos

carbonatado poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

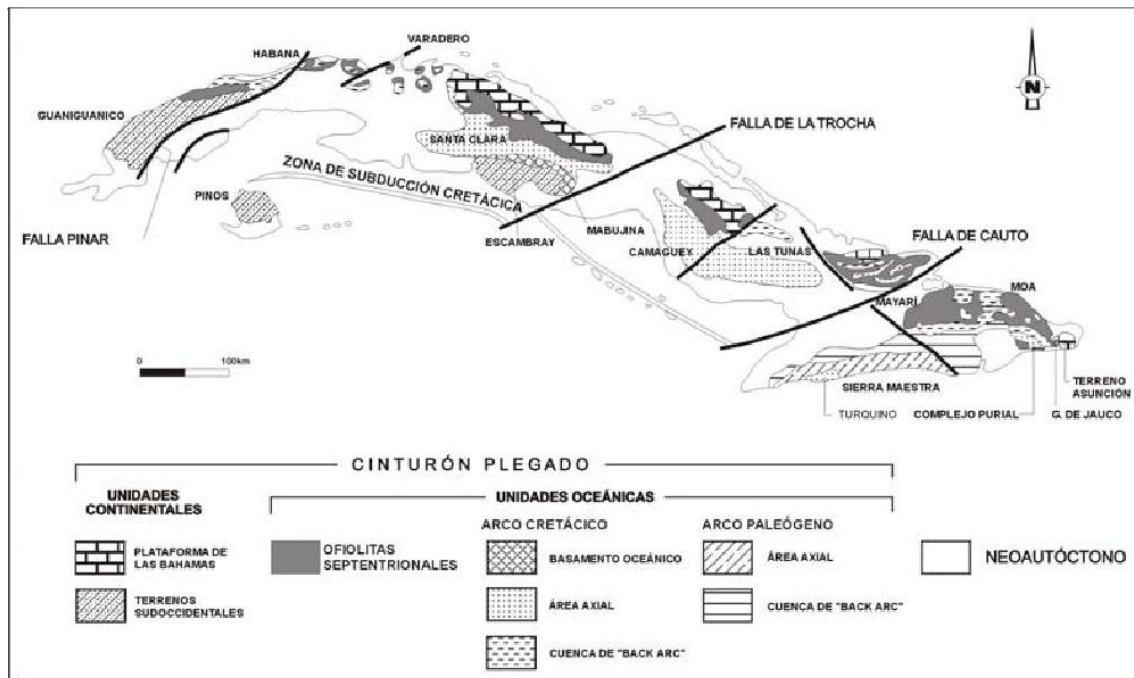


Figura 2: Mapa geológico esquemático de Cuba mostrando los afloramientos del cinturón plegado y del neoaútctono (adaptado de Iturralde-Vinent, 1995).

Esta última concepción es la más generalizadora de todas las empleadas hasta el momento, incluyendo en ellas las anteriores realizadas. Hay que destacar que dentro de las unidades oceánicas del cinturón plegado se enmarca nuestra investigación. Y especialmente las tobas vítreas de nuestra investigación pertenecen al arco volcánico del paleógeno.

Ofiolitas septentrionales:

Las rocas típicas de la secuencia ofiolítica están ampliamente representadas en toda la región de estudio, formando parte del Macizo Moa-Baracoa, este se ubica en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa. El mismo ocupa un área aproximada de 1500 Km² y presenta un desarrollo considerable de los complejos ultramáfico, de gabros y volcano-sedimentario (Proenza, 1997).

Según Cobiella, (1984) el espesor aproximado del complejo ultramáfico es de 1 000 metros y el de gabros de 500 metros. Quintas (1989) estima un espesor de 1 200 metros para el complejo volcano-sedimentario.

El complejo ultramáfico desde el punto de vista petrológico se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado dunitas, también se han descrito dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas .

Los cúmulos de gabros forman grandes cuerpos con dimensiones entre 1 y 3 Km de ancho, por 10 a 15 Km de longitud. El contacto entre los gabros y el complejo ultramáfico generalmente es tectónico. Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronorita, gabros, anortositas y noritas. En el área de estudio el más común es el gabro bandeado o modalmente transicional, cuyas bandas tienen una foliación concordante con el complejo de tectonitas. Las bandas son de color oscuro algo verdoso con textura masiva o fluidal. Los gabros isotrópicos al parecer no se desarrollan o están muy mal representados. En la región de estudio los gabros afloran siempre asociados a las serpentinitas, apareciendo en forma de bloques en las zonas de Quesigua-Cayo Guam-Mercedita, Centeno-Miraflores y Farallones-Caimanes.

El complejo de diques de diabasas está muy mal representado, razón por la cual puede inferirse una expansión (spraeiding) lenta de la corteza oceánica. Las diabasas descritas en la región aparecen principalmente en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo (Torres, 1987).

El complejo volcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico (Proenza, 1997). Está representado por la Fm. Quiviján (Iturralde-Vinent, 1996, 1998) la cual incluye basaltos amigdaloides y porfíricos (algunas veces con estructura de almohadilla), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de *cherts* y calizas (Quintas, 1989). Datos de trazas (REE, LILE) de esta formación, demuestran su carácter de *Island-arc tholeiite* (IAT). Este complejo aflora en la región de Farallones, al sur de Yamanigüey y en un pequeño bloque en Cupey.

Arco de isla volcánico del Cretácico (Paleoarco):

Esta unidad está ampliamente desarrollada en la región, representadas por las rocas de las formaciones Téneme, Santo Domingo, así como del Complejo Cerrajón. La Fm. Téneme (Cretácico Superior-Inferior), está compuesta

fundamentalmente por flujos de basaltos, andesitas basálticas, tobas y brechas (Gyarmati, 1997). Se encuentra en las cuencas de los ríos Cabonico y Téneme y en la región de Moa. Aunque se han aportado pocos datos geoquímicos de estas rocas, algunos autores consideran que la Formación Téneme pudiera ser parte de un antiguo arco de isla Tipo PIA (Torres y Fonseca, 1990).

La Fm. Santo Domingo (Albiano-Turoniano) está compuesta por tobas y lavobrechas andesíticas, dacitas, tufitas, argilitas, lutitas volcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Iturralde-Vinent, 1976, 1996, 1998, Proenza y Carralero, 1994, Gyarmati y otros, 1997) se incluyen en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo, que afloran en la localidad de Centeno. Aflora además hacia la parte centro occidental (al norte y sur de la Sierra Cristal), en la parte alta de la cuenca del río Sagua y en la región de Farallones-Calentura. Los materiales de la Fm. Santo Domingo se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas de la Faja Mayarí-Baracoa. Muchas veces los contactos coinciden con zonas que presentan una mezcla de bloques de vulcanitas pertenecientes al arco y de ofiolitas (Iturralde-Vinent, 1996).

El complejo Cerrajón (Aptiano-Turoniano) está compuesto de diques subparalelos de diabasas y gabrodiabasas (Gyarmati y otros, 1997).

La actividad volcánica se extendió desde el Aptiense al Campaniense Medio (Iturralde-Vinent, 1994, 1996) y fue el resultado de una subducción intraoceánica. Restos de este basamento ofiolítico del arco afloran actualmente y están representados por las anfibolitas de la Formación Güira de Jauco, al sur de la región de estudio (Millán, 1996, Iturralde-Vinent, 1996).

En la zona de contacto de estas rocas cretácicas con las ofiolitas, las mismas se encuentran deformadas, generalmente trituradas hasta brechas. En ocasiones los contactos coinciden con zonas muy fisuradas y foliadas, o con masas caóticas que contienen mezcla de bloques de ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Iturralde-Vinent, 1995).

Arco de isla volcánico del Paleógeno (Neoarco):

Entre el Paleoceno-Thanetiense y el Eoceno Medio Inferior se desarrolló otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas en Cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla, y en nuestra zona se considera como materiales distales del vulcanismo paleogénico. Estas secuencias están compuesta por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, lutitas, margas, gravelitas, conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas, y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 6000 m de espesor (Formación Sabaneta) la cual yace sobre una secuencia de transición que contiene finas intercalaciones de tufitas (Fm. Gran Tierra) (Iturralde-Vinent, 1995) o descansa discordantemente sobre las formaciones Mícara y La Picota y sobre las ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Nagy y otros, 1983). Esta formación en Castillo de los Indios (Eoceno Inferior-Medio) y Miranda (Paleoceno-Eoceno), mientras que Gyarmati (1997) la dividen en Sabaneta y Castillo de los Indios. Todas ellas con características similares. En Farallones el corte está compuesto por tobas vitroclásticas y cristalovitroclásticas zeolitizadas, en menor grado argilitizadas, tufitas, calizas, radiolaritas, tobas vítreas y tobas cineríticas.

Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación. La estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional. En los Indios de Cananova, en la base de la formación se intercalan areniscas de granos gruesos y algunas brechas, donde fueron encontrados fósiles que indican una edad Paleoceno-Daneano. Esta formación aflora en los flancos septentrional y meridional de la Sierra Cristal, en la cuenca de Sagua de Tánamo, en un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey. Las rocas pertenecientes al arco de isla volcánico del Paleógeno yacen sobre los materiales deformados del arco Cretácico, las ofiolitas y las cuencas de *piggy back* del Campaniano Tardío-Daneano (Proenza, 1994).

Este arco está representado en esta región por las unidades litoestratigráficas o formaciones geológicas (Fm) siguientes:

Fm Sabaneta

Edad Paleoceno Inferior (*Daneano parte alta*) - Eoceno Medio. (e₁^a- e₅), se desarrolla en forma de fajas alargadas en las provincias de Guantánamo y Holguín. Presenta una litología compuesta principalmente por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobaceos, limolitas, margas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos y ocasionalmente pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito- basaltos y andesito - dacitas. Es característico debido a la alteración de las tobas, la presencia de minerales arcillosos (montmorillonita) y zeolitas (mordenita, clinoptilolita, etc.). Las rocas de esta formación se formaron en un ambiente de sedimentación marino, con un régimen dinámico de las aguas muy inestable, con un aporte piroclástico considerable, producto de la cercanía a centros magmáticos explosivos, su espesor oscila entre 250 y 1200 m. Presenta relaciones estratigráficas con la Fm. Gran Tierra, sobre la que yace concordantemente y discordantemente sobre las formaciones La Picota, Mícara y Sierra del Purial.

Está cubierta concordantemente por la Fm. Puerto Boniato y discordantemente por las formaciones Baracoa, Cabacú, Charco Redondo, Mucaral, Río Maya, San Ignacio, Sierra de Capiro, San Luís y los grupos Guantánamo (Fm. Yateras y los miembros Cilindro y Vega Grande de la Fm. Maguey) y Nipe (Fm. Júcaro). Esta unidad se distingue por presentarse en forma de suaves pliegues, que en ocasiones están afectados por fallas, los bloques que tienen un buzamiento muy suave, aunque continuo, forman una estructura alargada de anticlinales con sus ejes en dirección norte-sureste, las fallas son de gran longitud y en general tiene direcciones norte - sureste. El vulcanismo es predominantemente del tipo eruptivo. La Fm. Sabaneta se superpone ambos procesos, o sea es tanto de *piggy back* como de *back arc* del arco Paleogénico, tanto por la edad como por la cercanía al arco Paleogénico.

Cuencas de "*piggy back*" del Campaniense Tardío-Daniense

En el Campaniense medio, culminó la actividad volcánica y comenzaron los procesos de cabalgamiento de las secuencias volcánicas generadas y de las ofiolitas del mar marginal (obducción) sobre el borde meridional de la Plataforma de Las Bahamas. En estas condiciones de inestabilidad tectónica se desarrollaron una serie de cuencas, que se comportaron como cuencas de "piggy back" (también denominadas "cuencas superpuestas de primera generación", Quintas, 1989). De este estadio son representativas las formaciones sedimentarias Mícara, La Picota y Gran Tierra.

Dentro de las mismas se encuentran secuencias típicamente olistrostrómicas como es el caso de la Fm. La Picota (Mastrichtiano) y parte de la Fm. Mícara (Mastrichtiano-Paleoceno), las cuales están compuestas por fragmentos y bloques procedentes de la secuencia ofiolítica y de las rocas volcánicas cretácicas (Cobiella, 1984). Por otro lado, la Fm. Gran Tierra (Paleoceno) se compone de calizas brechosas, conglomerados volcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas órgano-detriticas, areniscas volcanomícticas de cemento calcáreo, lutitas y tufitas (Iturralde-Vinent, 1995). En algunas localidades los depósitos Mastrichtiano-Daneano de tipo olistrostrómico-flyschoide (formaciones Mícara y La Picota) transicionan a la secuencia del Daneano-Eoceno Superior (formaciones Gran Tierra, Sabaneta, Charco Redondo y San Luis) (Iturralde-Vinent, 1995).

El área de afloramiento de la formación Mícara es muy diversa, aflorando en los flancos meridionales de la sierra del Cristal, cuenca de Sagua de Tánamo, Mayarí Arriba, Sector de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores. La formación La Picota tiene una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado. Existen dudas acerca de su pertenencia a esta formación o si son brechas tectónicas en Sagua de Tánamo, la base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes. La formación Gran Tierra es una secuencia terrígeno-carbonatada que aflora en los flancos meridionales de la sierra de Cristal. En las rocas arcillosas y margosas algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges. Aflora en los flancos meridionales de la Sierra del Cristal, de esta formación se han

registrado los primeros vestigios del vulcanismo paleogénico en forma de tobas.

En consecuencia, estas formaciones constituyen un registro temporal del proceso de emplazamiento tectónico (obducción) de las ofiolitas, el cual estuvo enmarcado en el tiempo de desarrollo de estas cuencas.

Cuencas de "piggy back" del Eoceno Medio-Oligoceno:

En el Eoceno Medio Inferior concluyó la actividad volcánica paleógena. A partir de este momento y hasta el Oligoceno se desarrolló un segundo estadio de cuencas de *piggy back* Quintas, (1989) en las cuales se depositaron espesores considerables de materiales terrígenos y carbonatados. Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas por la formación Mucaral.

La Fm. Mucaral (Eoceno Medio-Oligoceno Inferior) está compuesta por margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, lutitas y tobas (Cobiella, 1984).

Neoautóctono (Materiales post-Eoceno):

El "neoautóctono" está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en un régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del "sustrato plegado". Las rocas del "neoautóctono" constituyen una secuencia terrígeno-carbonatada poco deformada que aflora o cubre discordantemente los complejos más antiguos y que estructuralmente se caracterizan por su yacencia monoclinas suave u horizontal (Quintas, 1984). El neoautóctono se divide en dos coberturas:

Cobertura del Paleógeno Medio-Neógeno Tardío:

Rocas sedimentarias de variadas litologías. Presenta depósitos minerales de calizas, margas, arcillas. Representado en la región por las formaciones:

Fm. Mucaral

Edad Eoceno Medio (*parte alta*) - Eoceno Superior, (e_{5b} – e₇). Se desarrolla en las regiones de Sagua de Tánamo, Mayarí, Sierra de Nipe y Baracoa, provincias de Guantánamo y Holguín. Se reconoce por su litología donde

predominan las margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas y tobas. La relación estratigráfica está dada por una yacencia concordante sobre las formaciones Charco Redondo, Puerto Boniato y Sierra de Capiro y discordantemente sobre las formaciones La Picota, Mícará, Santo Domingo y Sabaneta. Está cubierto discordantemente por los grupos Guantánamo (*Fm. Yateras y el Mbro. Vega Grande de la Fm. Maguey*) y Nipe (formaciones Bitirí y Camazán).

Las rocas de esta formación se formaron, en un ambiente de sedimentación de aguas marinas profundas, su espesor puede alcanzar hasta 300 m.

Fm. Yateras

Edad Oligoceno Inferior- Mioceno Inferior (parte baja) ($e_9 - n_1$). Las rocas de esta formación afloran en el techo de las elevaciones en la parte norte de la bahía de Guantánamo, formando una faja discontinua entre el río Bállate y la sierra del Convento, provincia de Guantánamo. Se observan parches aislados en el curso superior de los ríos Mayarí y Sagua de Tánamo, y entre Baracoa y Yamanigüey, provincias de Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo. Se reconoce por su litología donde predomina una alternancia de calizas detríticas, biodetríticas y biógenas de grano fino a grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas.

La coloración por lo general es blanca, crema o rosácea, menos frecuentemente carmelitosa, sus relaciones estratigráficas están dadas por que yace concordantemente sobre el Mbro. Vega Grande (*Fm. Maquey*) y discordantemente sobre las formaciones Charco Redondo, La Picota, Mícará, Mucaral, Sabaneta, San Ignacio, San Luis y Santo Domingo y el Mbro. Cilindro (*Fm. Maquey*). Está cubierta concordantemente por la Fm. San Antonio y discordantemente por la Fm. Villarroja. Transicional lateralmente con el Mbro. Vega Grande (*Fm. Maquey*), es correlacionable con las formaciones Colón y Jaruco de Cuba Occidental y en parte con las formaciones Paso Real de toda Cuba, Banao y Lagunitas de Cuba Central, Báguanos, Bitirí, Camazán, Maquey y Sevilla Arriba de Cuba Oriental, los sedimentos que dieron origen a estas rocas, es típico de depósitos arrecifales, abarcando distintas variedades del complejo arrecifal, su espesor que oscila entre 160 y 500 m.

1.2.2. Tectónica Regional

El Bloque Oriental Cubano (*Figura 1*), comprendido desde la falla Cauto- Nipe hasta el extremo oriental de la isla, presenta una tectónica caracterizada por su alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie (Rodríguez, A. 1998).

Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas (Campos, 1983).

Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por la acción de las fuerzas tangenciales que los afectan como resultado de la compresión (Campos, 1983, 1990, Rodríguez, A.1998). También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983).

En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: noreste-suroeste; noroeste- sureste y norte- sur, esta última, característica para las vulcanitas de la parte central del área. Las deformaciones más complejas se observan en las rocas metamórficas, en la cual en algunas zonas aparecen fases superpuestas de plegamientos (Campos, 1983).

A fines del Campaniano Superior – Maastrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico Cretácico Cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobrecorrimiento con mantos tectónicos altamente dislocados de espesor y composición variada. Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas.

En las rocas paleogénicas y eocénicas la dirección de plegamiento es este- oeste, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinal u horizontal (Campos, 1983).

Los movimientos verticales son los responsables de la formación del sistema de Horts y Grabens que caracterizan los movimientos tectónicos recientes, pero hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior, que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste (Bandera. D. Naranjo. V. Rodríguez. J. & J. Rojas, 1997), que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.

1.3. Caracterización del yacimiento de tobas vítreas de Sagua de Tánamo.

La información expuesta sobre la geología del yacimiento Sagua de Tánamo fue tomada del Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico Sagua de Tánamo. Prov. Holguín. Cálculo de Reservas realizado en noviembre. (Banderas, *et al* 1997).

1.3.1. Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra a unos 10-15 km de La ciudad de Sagua de Tánamo, en la plancheta topográfica 5177-I, a escala 1: 50 000, dentro los límites determinados por las coordenadas Lambert del sistema Cuba Sur, como se presenta en la *Figura 3*.

Tabla 3: Límites espaciales.

| Vértice | X(Este) | Y(Norte) |
|---------|---------|----------|
| 1 | 676 000 | 215 000 |
| 2 | 679 000 | 217 000 |

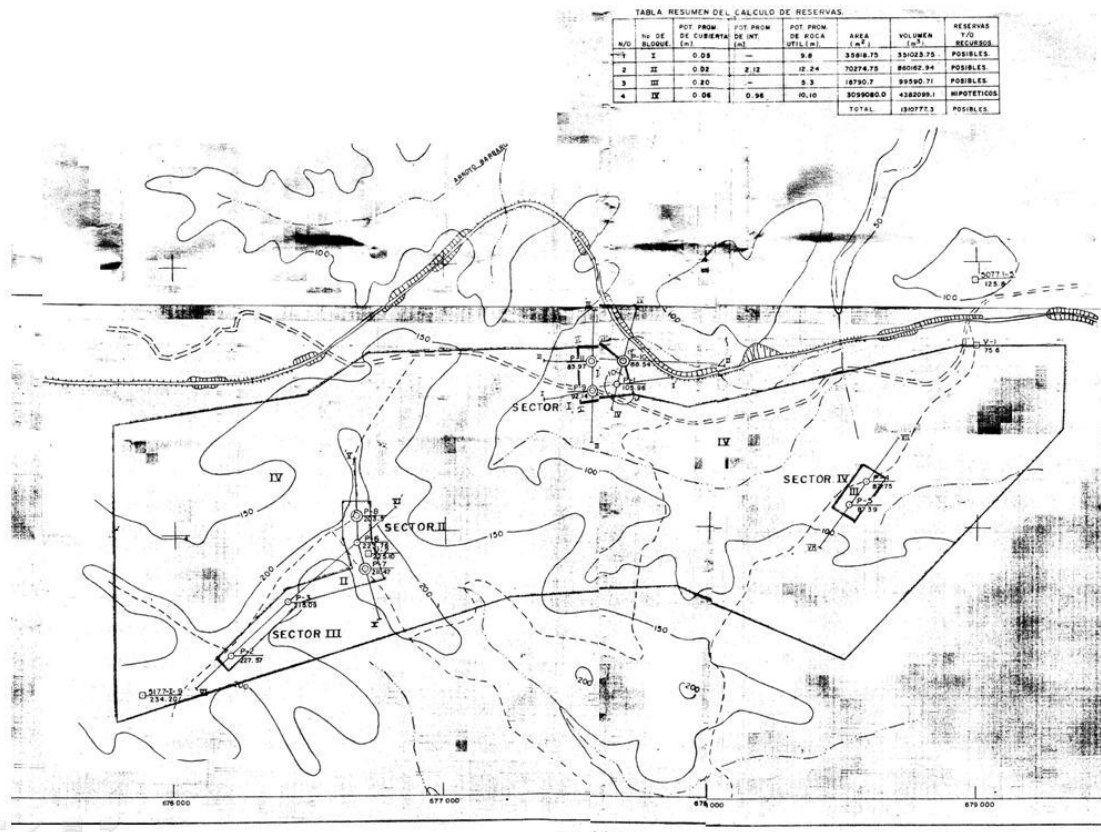


Figura 3: Esquema de los sectores prospectados por la EGMO en el depósito de tobas vítreas Sagua de Tánamo (Bandera y otros, 1997).

1.3.2. Geología del yacimiento

El corte geológico del yacimiento en sentido general se puede describir de arriba hacia abajo de la forma siguiente.

- Cubierta vegetal arena-arcilla, que no sobrepasa los 0.40 m, la cual presenta poca distribución, generalmente al yacimiento se encuentra descubierto.
- Tobas vitroclástica y vitrocrystaloclastica, de color blanco grisáceo, de granulometría de fina a media en los sectores I Y II, generalmente abrasivas al tacto, textura masiva, a veces porosas, las cuales por su composición química son rocas ácidas con alto contenido SiO₂ (60,84 % según tabla 1.1) y pH >7, contenido de vidrio volcánico superior al 50%. Por debajo de la formación Sabaneta fueron cortados calizas brechozas de la formación Gran Tierra, como las que contactan tectónicamente en el sector I.
- Estas tobas presentan en mayor o menor grado alteración a minerales

arcillosos, como lo demuestran los contenidos de montmorillonita (22,95 % según la Tabla 1.2) dados por los análisis de (ATD), petrográfico y RX, donde destacan los bajos por cientos de feldespatos, calcita, dentro de la composición mineralógica. En general son tobas vítreas con altos contenidos de vidrio volcánico promediando (71,80%, según Tabla 1.2).

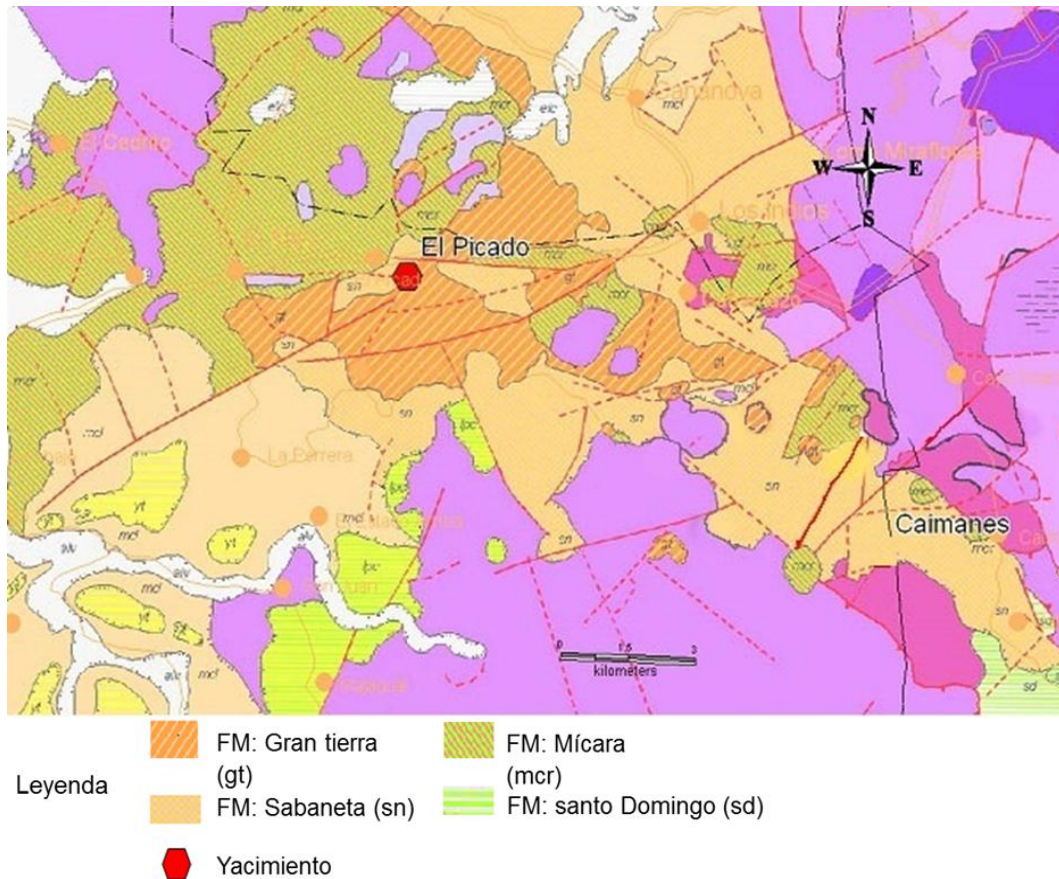


Figura 4: Esquema geológico del área de estudio (tomado de Banderas et al., 1997).

1.3.3. Estratigrafía

Las principales formaciones que aparecen en la zona de estudio son:

- Formación Mícara: Areniscas polimíctica y aleurolitas (k2 m - P1 (1)).
- Formación Gran Tierra: Calizas brechosas, conglomerados, vulcanomícticos (P1 (1)).
- Formación Sabaneta: Tobas vitroclásticas, areniscas tobáceas (P1 (1) - P2 (2)).
- Asociación Ofiolítica del Cretácico: serpentinitas y gabros.

1.3.4. Tectónica

El tectonismo se distingue por suaves pliegues en ocasiones, afectados por fallas. En la formación Sabaneta los pliegues tienen buzamiento muy suave, aunque continuos, formando estructuras alargadas de anticlinales con sus ejes en dirección Noreste-Sureste.

1.3.5. Características petrográficas

Tobas vitroclásticas y vitrocrystaloclasticas de color gris, textura masiva, estructura vitroclástica psamítica, roca constituida por vitroclastos, cristaloclastos, litoclastos. Morfológicamente el yacimiento adquiere una estructura de pliegues anticlinales, las cuales forman elevaciones que en sus partes superiores se acumulan las tobas con contenido de vidrio volcánico considerable. Además, se observan estructuras monoclinales con buzamientos de las capas hacia el norte-noreste con ángulos aproximadamente de 15 grados y hacia el sur con ángulos de 8 grados.

1.3.6. Composición mineralógica y petrográfica

En la composición mineralógica del yacimiento predominan el vidrio volcánico y la montmorillonita, subordinadamente en bajos por cientos, calcita, cuarzo, feldespatos.

El contenido de vidrio volcánico posee un valor mínimo de 54,2 % y máximo 80 % agrupándose valores en los intervalos límites de clases +(70 – 80 %) y -(60 - 70 %) en un 47 % y 40 % respectivamente. Los contenidos de montmorillonita se agrupan en los intervalos 20 - 30 % de 30 – 40 % en un 48 % y 30 % respectivamente con un mínimo 16.1 % y máximo 39,08%. (Banderas, *et al* 1997).

Tabla 4: Composición química promedio del yacimiento de vidrio volcánico Sagua de Tánamo.

| Composición química | Valor, en % |
|--------------------------------|-------------|
| TiO ₂ | 0,47 |
| FeO | 0,48 |
| K ₂ O | 1,4 |
| MgO | 2,56 |
| Na ₂ O | 2,68 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,82 |
| CaO | 4,48 |
| CaCO ₃ | 5,02 |
| Al ₂ O ₃ | 14,22 |
| SiO ₂ | 60,84 |

Tabla 5: Composición promedio por sectores del Yacimiento Vidrio volcánico Sagua de Tánamo. Tomado de Banderas, et al 1997.

| Sectores | Vidrio Volcánico | Montmorillonita | CaCO ₃ |
|----------------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| Sector I | 74,80 | 19,55 | 5,67 |
| Sector II | 64,45 | 27,59 | 5,63 |
| Sector III | 76,17 | 21,70 | 2,19 |
| Sector IV | 70,34 | 23,60 | 5,02 |
| Promedio Yacimiento | 71,80 | 22,95 | 4,50 |

1.3.7. Complejidad geológica

Tomando en consideración la posición bien definida desde el punto de vista estratigráfico del yacimiento y de los rasgos estructurales, además de la poca variabilidad en cuanto a los parámetros de la materia prima el yacimiento es poco complejo.

1.3.8. Tipo genético

La formación genética del yacimiento es el resultado de la acumulación de cenizas volcánicas depositadas en cuencas marinas de mares someros tranquilos (se detectaron restos de microorganismos).

CAPÍTULO II. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

En este capítulo se describe la metodología empleada para el análisis de las tobas vítreas del yacimiento de vidrio volcánico Sagua de Tánamo, específicamente del sector 3. A continuación, se presenta el esquema general del procedimiento, ver *Figura 5*.

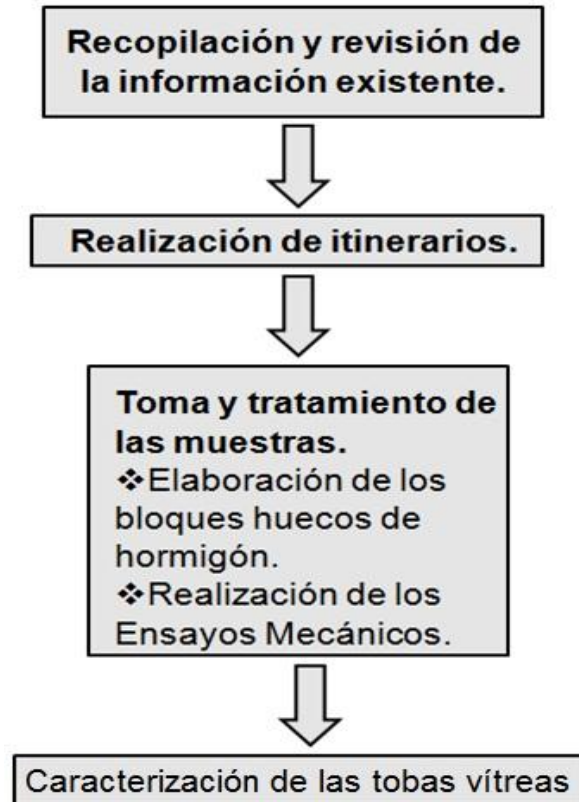


Figura 5: Esquema general del procedimiento.

2.1. Recopilación de la información

Esta etapa se desarrolló en varios centros tales como la Universidad de Moa, en la Dirección Municipal de Planificación Física de Sagua de Tánamo, en la industria de materiales de la construcción UEB Sagua de Tánamo. En esta etapa se recopiló información referente al tema mediante la consulta de bases de datos e informes.

De esta información obtenida se realizó una intensa revisión bibliográfica de artículos científicos, trabajos de diplomas y otros documentos relacionados con la temática abordada en la investigación, disponibles en los centros de información mencionados.

Algunos ejemplos de los trabajos realizados con anterioridad en esta área de estudio son: Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico (Almenares, R. S., 2011); Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo como puzolanas naturales de Armas, 2008.

Esta revisión bibliográfica fue apoyada por la correspondiente búsqueda en sitios Web de la INTERNET especializados en la temática, lo que contribuyó significativamente al enriquecimiento de la información con datos actualizados.

2.1.1. Antecedentes

Según las investigaciones realizadas con anterioridad, se constató lo siguiente:

De Armas, J, (2008), en su trabajo “Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo (El Picado) como puzolanas naturales” demostró que la dosificación de 15 a 30 % de tobas vítreas avalan su puzolanidad y su uso como aditivo al cemento y los hormigones, sin embargo no describe la granulometría adecuada para el mezclado, ni el uso de tobas como árido para la fabricación de hormigones y morteros.

Cabrera. M. R (2010), realiza una evaluación de las tobas vítreas de los yacimientos de la provincia de Holguín, para ver si se pueden utilizar como 7 puzolana natural en los materiales de la construcción, donde el material que se analiza, se le realizan ensayos para determinar la resistencia a la flexotracción y a la compresión de morteros y se comprueba que estos morteros superan la resistencia de los morteros de albañilería y las tobas influyen positivamente en la resistencia mecánica de los morteros. Donde se debería haber evaluado también los materiales a un mayor tiempo de fraguado y no se separan las fases de la montmorillonita de la arcilla en las tobas vitroclásticas.

Almenares R.S (2011), determinó las propiedades puzolánicas de los materiales tobáceos de la región de Holguín, con perspectivas a ser utilizadas como puzolanas naturales donde se incluyó el yacimiento Sagua de Tánamo. Determino que al añadir un 15 y un 30 % en peso, de estos materiales por cemento, y realizar una serie de análisis para determinar la composición química y mineralógica de estos materiales, obteniendo como resultado que al realizar la sustitución de los materiales tobáceos por cemento, los morteros

obtenidos cuentan con la resistencia suficiente para ser utilizados en la albañilería, pero no utiliza ningún método para separar los granos de montmorillonita de otro tipo de arcilla que se encuentra contenida en las tobas vítreas, como un factor planteado por el autor que limita la actividad de los referidos materiales.

Pérez, U. Y. (2015), en su trabajo determina los valores de las funciones de fragmentación para el proceso de molienda de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo, la investigación se realiza a escala de laboratorio, donde se encuentra la composición granulométrica del material por medio de análisis de tamiz por vía seca húmeda y se realiza el cálculo de las bolas que garanticen el rendimiento máximo del molino, donde la característica granulométrica del material se ajusta al modelo Rozin - Rammler, con relación de 0,94 y la cinética sigue las regularidades de los materiales rocosos y la función de selección se incrementa con el aumento de las clases hasta un tamaño de partículas de 0,6 mm, momento en el cual comienza a decrecer, pero se debió investigar sobre el efecto de las bolas en las funciones de fracturas a escala de banco y de laboratorio, no se realizó la separación de la montmorillonita de la arcilla, en las tobas zeolitizadas del yacimiento Sagua de Tánamo.

Pérez R. Y (2006), realiza un estudio de la cinética de la molienda de las tobas vítreas del yacimiento El Picao (Sagua de Tánamo), después de realizado el proceso de molienda en algunos intervalos de tiempo y con una serie de tamices se demuestra que a partir de los cinco minutos en adelante, se obtiene un producto que puede ser utilizado como aditivo puzolánico en el cemento, donde no se realiza un análisis a las fracciones granulométricas de mayor reactividad puzolánica que estén contenida en la fase vítrea, pero no se realiza la separación de la montmorillonita de otro tipo de arcilla contenida en las tobas vítreas al no utilizar ningún proceso de separación de estos.

Reyes, A.S.R. (2011), demostró que el 15 % de adición de las tobas vítreas como aditivo en la producción de cerámica roja para la industria de materiales es con el que se tiene mejores resultado. Lo cual permitió elevar sus propiedades en cuanto a contracción lineal (0,160 %), resistencia a la compresión (13,059 MPa) y pérdida de peso (49,884 %).

Tesis Rafa. 2020. demostró la utilización de las toba vítrea como árido ligero en el sector uno del yacimiento El Picao en Sagua de Tánamo con un resultado de disminución de peso en un 18%.

2.2. Realización de itinerarios

En los itinerarios se tuvieron en cuenta dos objetivos fundamentales; ubicar los puntos que según la bibliografía recopilada ya habían sido estudiados anteriormente, y reconocer el área de estudio. El mismo se realizó a pie. Se empezó por el sector 3.

Para el estudio de la caracterización de las tobas vítreas de este depósito como árido convencional, se escogió el sector 3; no solo por sus características físico-químicas y mineralógicas favorables, sino por su cercanía a la carretera Sagua-Moa, y su fácil acceso. Teniendo en cuenta que la presencia de arcilla en estas tobas vítreas disminuye la calidad de los áridos, se buscó un sector que tuviera menos contenido arcilloso.

2.3. Toma y tratamiento de las muestras

Las muestras fueron tomadas del sector 3 del depósito de Sagua de Tánamo (El Picado), se tomaron dos m³ aproximadamente de este material.

Se utilizó el método de puntos, que consistió en la obtención de trozos de la materia prima, aprovechándose el desprendimiento de rocas realizado por la cuchilla de un tractor al pasar anteriormente. El método en cuestión es sencillo y confiable, la Figura 6 visualiza una muestra obtenida.



Figura 6: Fotos de afloramientos del Sector 3 del depósito Sagua de Tánamo.

2.4. Métodos y técnicas analíticas empleadas en la investigación

La investigación se desarrolló siguiendo el método tradicional de experimentación, el cual estuvo apoyado para su valoración en técnicas de análisis de caracterización de la composición química, la descripción de su densidad, la caracterización mineralógica, resistencia a la compresión de los productos, absorción, peso de los productos, dimensionamiento.

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).

2.4.1. Determinación de la resistencia mecánica

La determinación de la resistencia a la compresión de las tobas vítreas se realizó a través de pruebas de bloques huecos de hormigón de (40x10x20) cm.

2.4.2. 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 (Figura 7) nivelado correctamente con el nivel. El conjunto se colocó entre los platos de 25x25 cm de la prensa que aparece en la (Figura 7), 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.

La resistencia a la compresión R_i se calculó mediante la ecuación (2):

Expresión de los resultados.

La resistencia a la compresión de cada bloque (R'_i) se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$R'_i = \frac{F_j}{A_j \cdot 1000} \quad 2$$

Dónde:

R'_i : Resistencia a la compresión de cada bloque, MPa;

F_j : Carga de rotura, kN;

A_j : Área de la sección bruta del bloque, m².

La resistencia a la compresión media (R'_m) se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$R'_m = \frac{\sum_{i=1}^n R'_i}{n} \quad 3$$

R'_m : Resistencia a la compresión media, MPa;

n : Tamaño de la muestra de ensayo.

$$R_i = \frac{F_i}{a_i}$$

Donde:

R_i : Resistencia a la compresión de cada bloque (MPa)

Fi: Carga de rotura.

ai: área de la sección bruta del bloque

La resistencia a la compresión media (R_m) se calcula por medio de la ecuación (3):

Ecuación 3. Resistencia a la compresión media.

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$$

Donde:

R_m : Resistencia a la compresión media (MPa)

R_i : Resistencia a la compresión de cada bloque (MPa)

n : Tamaño de la muestra de ensayo



Figura 7: Preparación de los bloques para los ensayos.

Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron a las edades de rotura de 7 y 28 días a los 3 bloques con sustitución de un 100 % del árido grueso de granito (5 a 10 mm) por granito de tobas vítreas y a 3 bloques patrones. Con el mismo procedimiento se realizó el ensayo a los 28 días. Para el material ensayado a las diferentes edades, se consideró que la resistencia de los bloques huecos de hormigón a la compresión, viene expresada por el valor medio de los resultados obtenidos. Para la realización de los ensayos de compresión es necesaria la confección de bloques huecos de hormigón.

2.4.3. Preparación de los materiales para la conformación de los bloques huecos de hormigón

La muestra fue sometida a un proceso de trituración de dos etapas, la primera etapa fue de forma manual con un mazo de 5 kg reduciendo la muestra hasta obtener fragmentos menores de 100 mm aproximadamente, seguidamente se procedió a la segunda etapa de trituración empleando una trituradora de mandíbula TQ 150 x 75 mm la cual se le reguló la salida hasta 8 mm.

El producto de la segunda etapa del proceso de trituración se le realizaron manualmente tres operaciones de cribado de control la primera con un tamiz de 10 mm de malla, la segunda con uno de 5 mm y la tercera con un tamiz de 2,38 mm, el material retenido en la primera etapa de cribado se recirculó en la segunda etapa de trituración y al cernido se le realizó la segunda etapa de cribado.

La fracción a emplear de tobas vítreas fue sometida a una saturación en agua por 24 horas con el objetivo de que la mayor parte de sus poros se llenaran de agua y no absorbieran parte del gel cementicio, y a la vez que dicha agua fuera participante y entregada al bloque en su proceso de fraguado y secado.

La dosificación empleada en la confección de los bloques huecos de hormigón es la utilizada por la entidad constructora, perteneciente a la empresa de materiales de la construcción UEB de Umbrales. En este taller se utiliza una máquina estacionaria de hacer bloques fabricada en nuestro país compuesta por una estructura metálica de vigas y angulares básicamente, así como los elementos, moldes y mecanismos que permiten el vertido del hormigón hacia la concretera. También es parte de esta un motor eléctrico trifásico para lograr el funcionamiento del mecanismo de vibración en la mesa vibratoria, lo cual logra la compactación de los bloques dentro de los moldes y su posterior remoción con el mecanismo botador hacia las parrillas para el traslado al secado de los mismos.

Los bloques una vez terminado el proceso de producción se retiran manualmente. Los mismos se trasladan con dos hombres para su posterior secado y curado. El curado es llevado a cabo suministrándole agua a cada uno de los bloques durante más de 48 horas, con un sistema de mangueras o

manualmente. Para la realización del trabajo con los bloques huecos de hormigón de la investigación se les hace el mismo curado mencionado para posteriormente realizar los ensayos a los 7 y 28 días para garantizar una mejor reacción del cemento con la fracción de granito de las tobas vítreas, ver *Figura 8*.



Figura 8: Preparación de los bloques en la maquina vibratoria.

CAPÍTULO III: RESULTADOS ALCANZADOS

En este capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos de las mediciones realizadas, los ensayos de resistencia a la compresión y la determinación de la absorción de los bloques huecos de hormigón empleando tobas vítreas comparados con los patrones.

3.1. Características generales de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo

El material tobaceo del yacimiento Sagua de Tánamo se caracteriza por ser vitroclástico y vitrocrystaloclastico, son de color blanco grisáceo, de granulometría fina a media, generalmente abrasivas al tacto, porosa, ácidas con alto contenido de SiO₂ 60,84 % (Tabla 6), conteniendo vidrio volcánico superior a 50 %. (Aleaga, 2012).

Tabla 6: Composición química promedio del sector 3 del yacimiento de tobas vítreas de Sagua de Tánamo (%).

| Compuestos químicos | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | CaCO ₃ | TiO | FeO |
|---------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|-------------------|------|------|
| Contenido (%) | 60,84 | 14,22 | 3,82 | 2,56 | 4,48 | 2,68 | 1,4 | 5,02 | 0,47 | 0,48 |

3.2. Composición mineralógica del yacimiento vidrio volcánico Sagua de Tánamo

En la Tabla 7, se muestran los porcentajes de la matriz vítrea, así como el contenido de arcilla y las principales fases mineralógicas cristalinas encontradas en las tobas vítreas. Se observa que las tobas vítreas de Sagua de Tánamo poseen un alto contenido de arcilla, el cual varía de 16 a 39 %.(ALEAGA 2012).

Tabla 7: Características mineralógicas del material tobaceo del sector 3 del yacimiento de Sagua de Tánamo.

| Muestra | Matriz vítrea (%) | Contenido de arcilla (%) | Principales fases cristalinas |
|----------------------------------|-------------------|--------------------------|---|
| Tobas vítreas de Sagua de Tánamo | 54-80 | 16-39 | Albita, anortita, apatito, diópsido, hematina, hiperstena, ilmenita, ortoclasa, cuarzo, esfena. |

3.3. Análisis de los resultados obtenidos en bloques huecos de hormigón

Se usaron las siguientes variantes en la experimentación:

- A. Bloques patrones, fabricados con arena y áridos tipo granito de Sagua de Tánamo.
- B. Bloques fabricados con áridos tipo granito de tobas vítreas y arena de Sagua de Tánamo.
- C. Bloques fabricados con áridos tipo granito de 50 % de tobas vítreas y 50 % de rechazo serpentínico y arena de Sagua de Tánamo.
- D. Bloques fabricados con áridos tipo granito al 100 % de tobas vítreas, y sin el empleo de arena. Hormigón sin finos.

Las variantes C y D tienen objetivos muy especiales.

La variante C intenta demostrar cómo pueden fabricarse bloques tipo III usando rechazos serpentínicos de la planta de Pulpa de la Empresa PSA al ser mezclado con tobas vítreas para contribuir a la disminución de su peso. Esta investigación, con esta variante, se ha realizado en colaboración con el trabajo de diploma de Marco Antonio XXXX, 2022. Ya que el elevado peso, es uno de los aspectos que se señala negativamente para estos materiales fabricados exclusivamente con áridos provenientes del rechazo serpentínico.

En la variante D, se investiga de manera innovadora la fabricación de bloques empleando solo áridos tipo granitos de las tobas vítreas objeto de estudio, sin utilizar arena. Estos productos, en algunas literaturas, se denominan hormigón sin finos.

Se esclarece además, que según las normativas de la construcción se considera arena al material con granulometría de 0, 0 hasta 4,76 mm. Y se considera árido tipo granito a aquellos con granulometría desde 4,76 mm hasta 12, 5 mm.

3.3.1. Resultados de las mediciones realizadas y la determinación del peso a los bloques huecos de hormigón

Las mediciones se les realizaron a tres bloques a cada una de las variantes, con una cinta métrica metálica con un valor de división de 1mm, con el procedimiento que se muestra en el capítulo II. En la Tabla 8 se muestran los resultados de las dimensiones principales y tolerancias admisibles.

Tabla 8: Dimensiones principales y tolerancias admisibles. Según norma (NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones).

| Tipo de bloque | L ($\pm 0,003$ m) | b ($\pm 0,003$ m) | h ($\pm 0,003$ m) |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| I | 0,495 | 0,200 | 0,195 |
| | 0,395 | | |
| II | 0,495 | 0,150 | |
| | 0,395 | | |
| III | 0,495 | 0,100 | |
| | 0,395 | | |
| IV | 0,495 | 0,065 | |
| | 0,395 | | |

En las Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11, y Tabla 12 se muestran los resultados de las mediciones realizadas según las variantes investigadas.

Tabla 9: Resultados de las mediciones realizadas y el peso a los bloques patrones.

| Elemento | Largo (cm) | Ancho (cm) | Alto (cm) | Masa (Kg) |
|--------------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| A. Bloque 1 | 39.0 | 9.8 | 19.1 | 11.41 |
| A. Bloque 2 | 39.8 | 9.7 | 19.3 | 11.25 |
| A. Bloque 3 | 40.0 | 9.8 | 19.0 | 11.56 |
| A. Promedio | 39.6 | 9.8 | 19.1 | 11.4 |

Tabla 10: Resultados de las mediciones realizadas y el peso de Bloques fabricados con áridos tipo granito de tobas vítreas 100% y arena de Sagua de Tánamo.

| Elemento | Largo (cm) | Ancho (cm) | Alto (cm) | Masa (Kg) |
|-------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| B Bloque 1 | 40.1 | 10.0 | 19.5 | 9.64 |
| B Bloque 2 | 40 | 10.0 | 18.7 | 9.7 |
| B Bloque 3 | 39,9 | 10.0 | 19.5 | 9.8 |
| Promedio | 49 | 10.0 | 19.2 | 9.71 |

Tabla 11: Resultados de las mediciones realizadas y el peso a los bloques de granito tobas de 50% de graba de tobas 50% de rechazo serpentinitico y arena de Sagua.

| Elemento | Largo (cm) | Ancho (cm) | Alto (cm) | Masa (Kg) |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C Bloque 1 | 40 | 10.0 | 19.5 | 10.3 |
| C Bloque 2 | 39.5 | 10.0 | 18.7 | 10.2 |
| C Bloque 3 | 39,9 | 10.0 | 19.5 | 10.1 |
| C Promedio | 39.8 | 10.0 | 19.2 | 10.2 |

Tabla 12: Bloques fabricados con áridos tipo granito al 100 % de tobas vítreas y sin el empleo de arena. Hormigón sin finos.

| Elemento | Largo (cm) | Ancho (cm) | Alto (cm) | Masa (Kg) |
|-----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| D Bloque | 40.10 | 10.0 | 19.5 | 7.4 |
| D Bloque | 40.0 | 10.0 | 18.7 | 7.3 |
| D Bloque | 39,8 | 10.0 | 19.5 | 7.25 |
| Promedio | 39.96 | 10.0 | 19.2 | 7.31 |

Como se puede observar todas las mediciones realizadas a los bloques con áridos de tobas vítreas se encuentran en el rango de aceptación admisible de la norma NC 247: 2010 - Bloques huecos de hormigón - Especificaciones.

En cuanto al peso de los bloques, son significativas las disminuciones que se logran, las cual se resumen a continuación en la Tabla 13:

Tabla 13: Variación del peso por bloques.

| Variantes | Masa Promedio | Disminución de la masa en % |
|-----------|---------------|-----------------------------|
| A | 11.40 | |
| B | 9.71 | 17.1 |
| C | 10.20 | 12.9 |
| D | 7.31 | 37.6 |

A continuación se representa gráficamente en la Figura 9 las diferencias de masas obtenidas en las variantes investigadas.

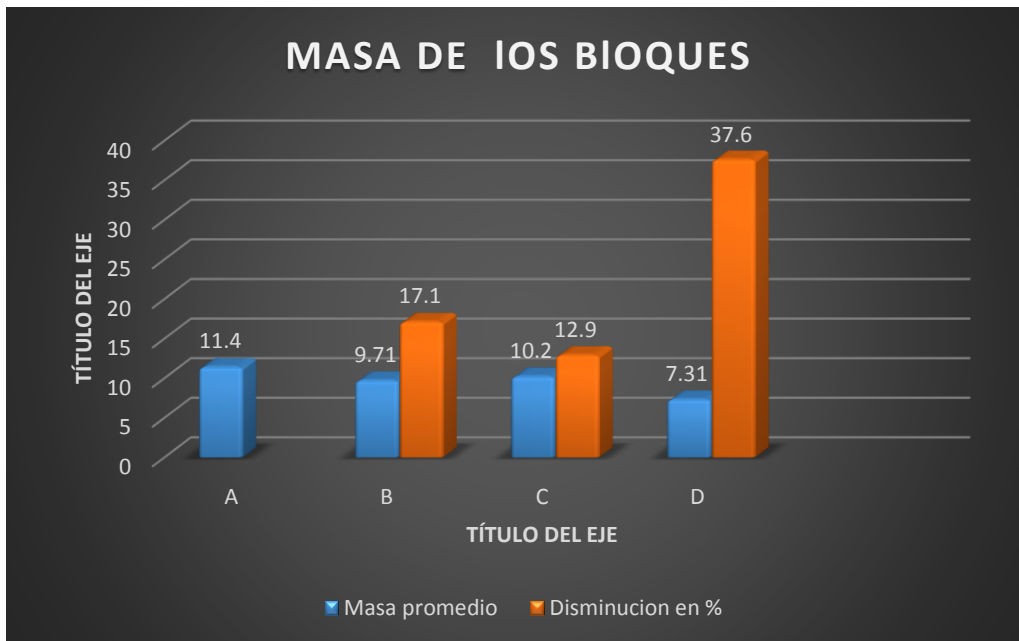


Figura 9: Representación gráfica de las masas obtenidas en las variantes investigadas.

En el caso de la variante C el objetivo que tenía era lograr una disminución de la masa, al emplear como áridos los desechos serpentínicos, lo cual se logra al menos en un 12,9 % (1.2 Kg).

El caso más significativo y que representa un resultado importante es el de la variante D, en la cual a los bloques fabricados no se le añadió arena de ningún tipo (Hormigón sin fino) y su disminución de masa está en el orden de los 37,6% (4,09 Kg).

Cabe destacar también la variante B donde se logran disminuciones significativas de la masa, pero muy inferior a la variante D. Aunque para este caso es un primer acercamiento a la necesaria disminución de la masa al emplear estos tipos de materiales.

3.3.2. Resultados del ensayo de resistencia a compresión

El ensayo de la resistencia a la compresión se les realizó a Bloques patrones, fabricados con arena y áridos tipo granito de Sagua de Tánamo. Bloques fabricados con áridos tipo granito de tobas vítreas y arena de Sagua de Tánamo. Bloques fabricados con áridos tipo granito de 50 % de tobas vítreas y 50 % de rechazo serpentínico y arena de Sagua de Tánamo. Bloques

fabricados con áridos tipo granito al 100 % de tobas vítreas, y sin el empleo de arena. Hormigón sin finos a la edad de 7 y 28 días.

Como se establece en la norma NC 247: 2010 - Bloques huecos de hormigón los bloques tipo III deben alcanzar a la edad de 7 días un promedio mínimo de 2 MPa y a la edad de 28 días un promedio de 2.5 MPa.

En las tablas siguientes se muestran los resultados de resistencia a la compresión obtenidos por la prensa hidráulica que se llevó a la unidad de (MPa).

Tabla 14: Comportamiento de la resistencia a la compresión de los bloques patrones a los 7 y 28 días. Variante A.

| Patrón | Compresión; MPa | |
|-----------------|-----------------|-------------|
| | 7 días | 28 días |
| A Bloque | 2.4 | 2.9 |
| A Bloque | 2.3 | 2.7 |
| A Bloque | 1.7 | 2.3 |
| Promedio | 2.13 | 2.63 |

Tabla 15: Comportamiento de la resistencia a compresión fabricados con áridos tipo granito de tobas vítreas al 100% y arena de Sagua de Tánamo a la edad de 7 y 28 días. Variante B.

| Toba vítrea | Compresión; MPa | |
|-----------------|-----------------|-------------|
| | 7 días | 28 días |
| B Bloque | 2.00 | 2.50 |
| B Bloque | 2.08 | 2.48 |
| B Bloque | 2.01 | 2.36 |
| Promedio | 2.03 | 2.44 |

Tabla 16: Comportamiento de la resistencia a la compresión de los bloques de granito de tobas, de 50% de grava de tobas y 50% de rechazo serpentínico y arena a los 7 y 28 días. Variante C.

| Patrón | Compresión (MPa) | |
|-----------------|------------------|-------------|
| | 7 días | 28 días |
| C Bloque | 2.20 | 2.70 |
| C Bloque | 2.12 | 2.42 |
| C Bloque | 2.13 | 2.53 |
| Promedio | 2.15 | 2.55 |

Tabla 17: Comportamiento de la resistencia a la compresión de los bloques con áridos tipo granito al 100 % de tobas vítreas, y sin el empleo de arena. Hormigón sin finos a los 7 y 28 días. Variante D.

| Patrón | Compresión; MPa | |
|-----------------|-----------------|-------------|
| | 7 días | 28 días |
| D Bloque | 1.58 | 2.08 |
| D Bloque | 1.56 | 2.06 |
| D Bloque | 1.52 | 2.0 |
| Promedio | 1.55 | 2.04 |

A continuación se puede observar la representación gráfica de los resultados de resistencia a la compresión de las variantes investigadas.

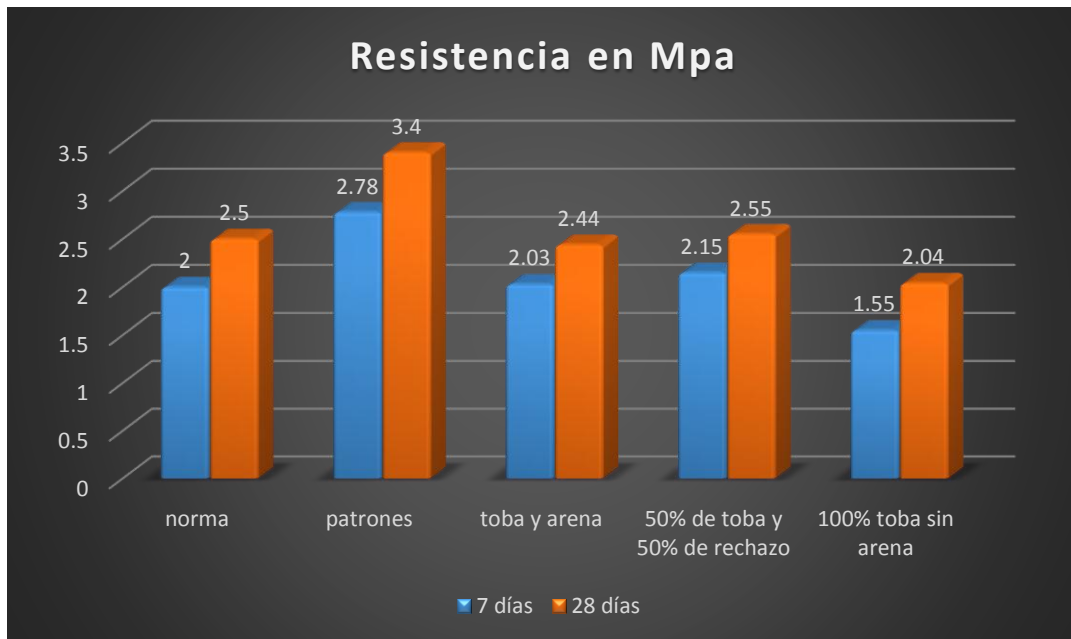


Figura 10: Promedio obtenido del ensayo de la resistencia a la compresión de los bloques su comparación con las distintas variantes, bloques patrones y la norma.

Como se puede observar los bloques de tobas vítreas de la variante B cumplen discretamente con la normativa a la resistencia a la compresión. La variante C cumple de manera más satisfactoria con lo establecido por la norma y la variante D, no cumple con los indicadores de resistencia a la compresión establecida por la norma.

Al comparar los bloques de tobas vítreas con los patrones, se puede observar que existe una disminución de la resistencia, pero la misma se compensa con una disminución considerable del peso de los bloques al utilizar como áridos las tobas vítreas lo cual se fundamenta en las disminuciones de peso expuestas en el punto anterior de las variantes B, C y D.

Aunque la disminución de la resistencia está justificada al emplear áridos ligeros en proporciones hasta de un 20% nuestras investigaciones con las variantes ensayadas mantienen un resultado promedio adecuado; lo cual puede ser explicado por el argumento de Guzmán and Alcívar 2010 “la porosidad del agregado ligero proporciona una fuente de agua para el curado interno del hormigón, que permite el aumento continuo de la resistencia y de la durabilidad del hormigón”. Este principio puede ser sumamente importante, pues nos argumenta que en futuras investigaciones debemos comprobar mayores tiempo de ensayos y poder establecer si existirán mayores

incrementos sostenidos de la resistencia al emplear áridos ligeros, como es el caso de los agregados de tobas vítreas.

3.4. Análisis de los resultados del ensayo de absorción

El ensayo de absorción de los bloques huecos de hormigón se les realizó a tres bloques patrones producidos con la dosificación antes mencionada en el capítulo II para obtener la cantidad de agua que pueden absorber. La siguiente tabla 3.8 muestra los resultados del ensayo de absorción a los bloques patrones.

Tabla 18: Absorción de los bloques huecos de hormigón patrones. Variante A.

| Muestras | Masa (g) | | Absorción (%) |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Masa seca | Masa húmeda | |
| A Bloque 1 | 11 120 | 11 660 | 4.86 |
| A Bloque 2 | 11 090 | 11 750 | 5.95 |
| A Bloque 3 | 11 100 | 11 800 | 6.30 |
| A Promedio | 11 103 | 11 736 | 5.70 |

En la Tabla 18 se obtiene que el porcentaje de absorción de los bloques patrón realizado en la base de apoyo de Moa como promedio se obtiene 5,70 %.

Tabla 19: Absorción de los bloques huecos de hormigón de tobas vítreas de 100% y arena de Sagua. Variante B.

| Muestra | Masa (g) | | Absorción (%) |
|-------------------|------------------|------------------|---------------|
| | Masa seca | Masa húmeda | |
| B Bloque 1 | 10 580 | 11 080 | 4.72 |
| B Bloque 2 | 10 585 | 11 285 | 6.61 |
| B Bloque 3 | 10 585 | 11 135 | 5.19 |
| Promedio | 10 583.33 | 11 116.67 | 5.50 |

Tabla 20: Absorción de los bloques huecos de hormigón con 50 % de tobas vítreas con 50 % de rechazo serpentinitico y arena. Variante C.

| Muestra | Masa (g) | | Absorción (%) |
|-------------------|--------------|------------------|---------------|
| | Masa seca | Masa húmeda | |
| C Bloque 1 | 10 920 | 11 480 | 5.12 |
| C Bloque 2 | 10 925 | 11 525 | 5.49 |
| C Bloque 3 | 10 900 | 11 400 | 4.58 |
| C Promedio | 10915 | 11 468.33 | 5.06 |

Tabla 21: Absorción de los bloques huecos de hormigón de tobas vítreas de 100% de las mismas. Variante D.

| Masa | Masa (g) | | Absorción (%) |
|-------------------|--------------|--------------|---------------|
| | Masa seca | Masa húmeda | |
| D Bloque 1 | 8 980 | 9 960 | 10.91 |
| D Bloque 2 | 8 975 | 9 900 | 10.31 |
| D Bloque 3 | 8 970 | 9 910 | 10.48 |
| D Promedio | 8 975 | 9 331 | 10.57 |

Como se muestra en la tabla anterior el porcentaje de absorción de los bloques empleando tobas vítreas como áridos es elevado, comparándolos con los patrones, estos varían de un 10.31% hasta un 10.91 %, con un **10.57 %** como promedio.

El promedio de la absorción de los bloques se determinó mediante la ecuación del capítulo anterior. El resultado se muestra en el gráfico siguiente.

La siguiente Figura 11 muestra los resultados del ensayo de absorción de las variantes investigadas.

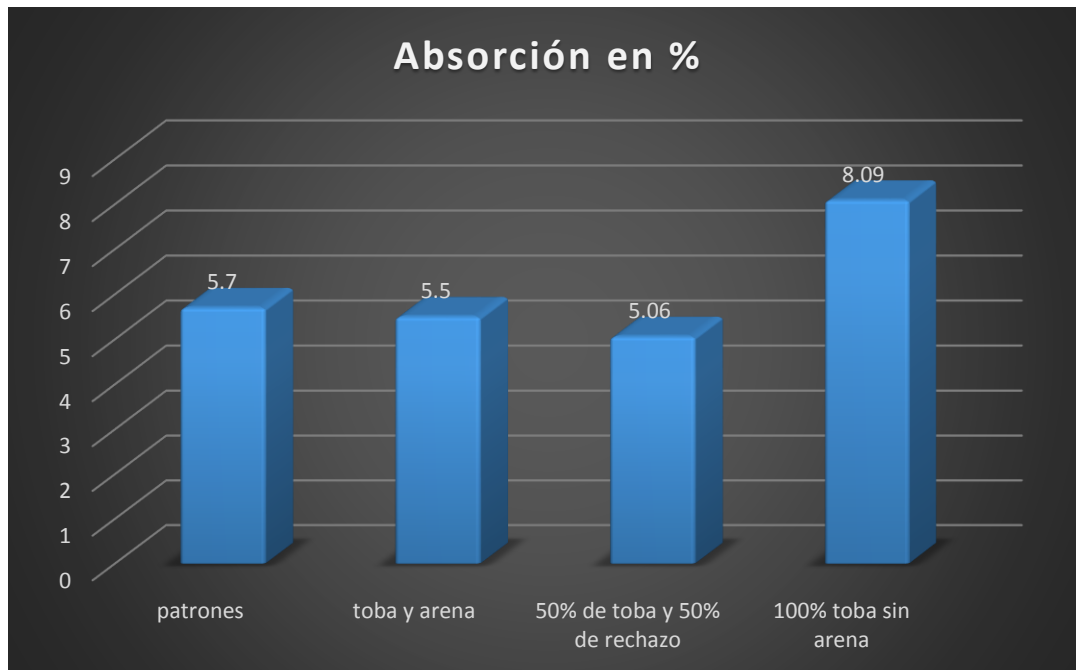


Figura 11: Promedio obtenido del ensayo de absorción realizado a las variantes investigadas.

La norma NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones no tiene límite de absorción para los bloques tipo III de 10 mm de espesor, que son los experimentados en el presente trabajo. Los mismos son empleados solamente para paredes divisoras, pero a la vez son los que más comúnmente se fabrican para los programas de fabricación de viviendas y obras sociales.

3.5. Valoración socioeconómica y ambiental

Se ha podido constatar de manera particular que dentro de la provincia de Holguín existen municipios con posibilidades de explotar recursos minerales de tobas vítreas para la construcción, tanto como áridos, como extensores del cemento (material puzolánico). Los municipios de Sagua de Tánamo y Moa, este último por su cercanía también al depósito de Sagua de Tánamo y por poseer también recursos abundantes de tobas vítreas y zeolitizadas tienen grandes perspectivas en estos aspectos.

El empleo de las tobas vítreas estudiadas en la presente investigación contribuye al desarrollo de nuevos materiales de construcción y con ello, ahorrar un volumen importante de recursos minerales.

Además, fundamenta la creación de nuevas fuentes de empleo, con oportunidades para la ocupación de fuerza de trabajo de poca o media calificación. Se lograría el incremento sustancial de la construcción de nuevas viviendas y otras obras sociales, con indicadores económicos de racionalidad. Además basado en las propiedades de estas materias primas de ser aislantes térmicos y acústicos, contribuiría al mejoramiento de la calidad de vida de las personas y al ahorro energético.

Este material tendría menos impacto ambiental, por el método de explotación, ya que por tener menor resistencia mecánica podría extraerse sin el uso de explosivos. Esto es de suma importancia, pues casi la totalidad de las canteras de áridos para la extracción minera se explotan mediante trabajos de barrenación y de sustancias explosivas. Un ejemplo de esto es el yacimiento de tobas vítreas Guaramano en Holguín y de Jiguany en Granma, que se explotan sin el uso de explosivos.

La preparación mecánica de esta materia prima contribuiría al ahorro energético, ya que al ser triturada o molida se fragmenta más fácil al ejercer menos resistencia que el árido tradicional.

CONCLUSIONES

1. Las tobas vítreas del depósito de Sagua de Tánamo pertenecen a La formación Sabaneta y su composición química y mineralógica se corresponde con este tipo de depósito, donde predomina el vidrio volcánico entre 54 - 80 % (71,8 promedio). Como minerales predominantes: montmorillonita 22,95 %, calcita 4,50 % y otros minerales acompañantes, albita, anortita, apatito, diópsido, hematita, hiperstena, ilmenita, ortoclasa y cuarzo.
2. Como resultado de las variantes investigadas:
 - Bloques fabricados con áridos tipo granito de tobas vítreas y arena de Sagua de Tánamo. Variante B.
 - Bloques fabricados con áridos tipo granito de 50 % de tobas vítreas y 50 % de rechazo serpentinitico y arena de Sagua de Tánamo. Variante C.
 - Bloques fabricados con áridos tipo granito al 100 % de tobas vítreas, y sin el empleo de arena. Hormigón sin finos. Variante D.

Las dimensiones de los bloques fabricados se encuentran en el rango de aceptación admisible de la norma cubana NC 247: 2010 - Bloques huecos de hormigón - Especificaciones.

Se comprueba la disminución significativa de la masa de los bloques ensayados, (especialmente la variante D), en la disminución de un 37.6 % al no emplear arena (Hormigón sin finos).

En los ensayos de resistencia realizados en la variante A, a la edad de 7 y 28 días se obtuvo como resultado un promedio de 2.78 y 3.40 MPa, en la variante B se obtuvo 2.03 y 2.44 MPa. En la variante C los resultados fueron 2.15 y 2.55 MPa. En el caso de la variante D los resultados fueron de 1.55 y 2.04 en este caso a la edad de los 7 días no cumple con la norma cubana (NC 247: 2010). En el caso de los resultados de los 28 días es favorable con respecto a la exigencia de dicha norma.

En la resistencia a la compresión existe una disminución de la resistencia en las variantes B, C y D, pero la misma se compensa con una disminución

considerable del peso de los bloques al utilizar como áridos las tobas vítreas, los cual se compensan con las disminuciones de masa.

En los ensayo de absorción realizados a la variante A se obtuvo como resultado un promedio de 5.70 %. En la variante B de se obtuvo 5.50 %. En la variante C los resultados fueron 5.06 %. En el caso de la variante D los resultados fueron de 8.09 %. Se esclarece que en los bloques de este tipo (bloques de 10) no se limita este parámetro.

Destacar el empleo de los productos investigados como aislantes térmicos y acústicos para una mejor calidad de vida, así como su menor consumo energético durante su titulación y molienda.

RECOMENDACIONES

1. Divulgar los resultados obtenidos en esta investigación con el objetivo de lograr la introducción de esta materia prima, dentro de la actividad constructiva a nivel local y regional y su integración con su empleo como extensor del cemento y otras aplicaciones establecidas.
2. Abrir una línea de investigación relacionada con la disminución del riesgo de las construcciones ante el peligro de eventos sísmicos, lo cual no se ha investigado en nuestro país, reportándose en la literatura científica.
3. Evaluar el sector 4 del yacimiento de tobas vítreas por sus mejores condiciones de accesibilidad.
4. Realizar mayores experimentos con las variantes de mezclas de tobas vítreas para lograr una mayor representatividad de los ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almenares Reyes, R. S., 2011: Caracterización de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como material puzolánico natural. Tesis de maestría. Tutor Dr. Carlos A. Leyva Rodríguez Moa, ISMM.
2. ALEAGA, F. M., 2012. Separación de la montmorillonita de las tobas vítreas. Moa, ISMM.
3. Bandera. D. Naranjo. V. Rodríguez. J. & J. Rojas., 1997. Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico "Sagua de Tánamo". Prov. Holguín. Cálculo de Reservas realizado en Nov. 1997. Inédito. Inv. 4743, ONRM.
4. Bandera. D. Naranjo. V. Rodríguez. J. & J. Rojas., 1997. Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico "Sagua de Tánamo".
5. Cabrera, M. R., 2010, Valoración de las tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín para su utilización como puzolana natural en la construcción. Roger Samuel Almenares Reyes (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 40 p. Cobiella J.L.
6. Campos M. 1983, Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de las provincias de Holguín y Guantánamo. Revista Minería y Geología No.2.
7. Guerra, J. d. A., 2008. Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo como puzolanas naturales. Tutor Dr. Carlos A. Leyva Rodríguez Moa, ISMM.
8. Guzmán, L. F. V. and G. E. S. Alcívar, 2010. HORMIGONES LIVIANOS. Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).
9. Gyarmati, 1997. Caracterización de las rocas del arco de islas Cretácico en la Zona Estructuro-Facial Nipe-Cristal-Baracoa. En: G. F. Furrázola, K. E. Nuñez-Cambra (eds.). Estudios sobre Geología de Cuba, Ciudad de la Habana, Instituto de Geología y Paleontología, 1997, p. 357-364.
10. Pérez U. Y., 2015: Evaluación de las tobas zeolitizadas del Yacimiento de Caimanes como fuente de materia prima para la producción de cemento

de bajo carbono. Trabajo de diploma. Tutor Dr. Carlos A. Leyva Rodríguez. ISMM.

11. Pérez, R. Y., 2006. Caracterización geológica y tecnológica del vidrio volcánico del yacimiento de Guaramanao. Tutor Dr. Carlos A. Leyva Rodríguez. ISMM.
12. Reyes, A. S. R., 2011: "Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia de Holguín como aditivo puzolánico". Tesis de maestría. Tutor Dr. Carlos A. Leyva Rodríguez. ISMM.
13. IGP, I. d. G. y. P., 2011 Rocas y minerales industriales de la República de Cuba.
14. Iturralde, V. M., 1995: Cuencas sedimentarias del paleoceno –eoceno de cuba. Bol. Soc. Venezolana de geología., 20(1-2), 75-80.
15. Jiménez G, A., 2017. Caracterización de las tobas zeolitizadas de Caimanes y vítreas de Sagua de Tánamo para fabricar materiales de pequeño formato. Tutor Dr. Carlos A. Leyva Rodríguez. Moa.
16. Nagy N., 1983. Ensayo de las zonas estructuro faciales de Cuba oriental, contribución geológica de Cuba oriental. Editorial Ciencia y Técnica, ACC.
17. NC 247.-2010: Bloques huecos de hormigón – Especificaciones.
18. Proenza. J.A., 1997: Mineralización de cromita en la Faja Ofiolítica Mayarí -Baracoa (Cuba): Ejemplo del yacimiento Mercedita. CICT, ISMM. Moa. (Tesis Doctoral). 227p.
19. Proenza. J. Carralero, N. 1994: Un Nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca Sagua de Tánamo.
20. Quintas, F., 1899. de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, I.S.M.M.
21. Torres, M., 1987. Características de la asociación ofiolítica de la región norte de Moa-Baracoa y su relación con el Arco Volcánico Cretácico (Instituto Superior Minero Metalúrgico). Moa. Trabajo de diploma. 113p.
22. Tesis Rafael 2020 Caracterización de las tobas Vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como árido ligero en el sector 1.

ANEXOS

Anexo 1: Maquina vibratoria de fabricar bloques.



Anexo 2: Bloques.



Anexo 3: Trompo para mezcla.

