



Tesis en opción al título de Máster en Ciencias Geológicas

Título: Aplicación de agrominerales y mejoradores de suelos en el municipio Moa, Holguín

Autor: Ing. Lisset Martínez Bring

Tutores: Prof. Dr.C. Carlos Leyva.

MSc. Giorvys Cuza Fernández

Profesor Consultante Ing. Luis Alberto Pérez García

Moa, 2024

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado especialmente a mis padres, los cuales son mi mayor inspiración, por su educación, amor, comprensión y sobre todo por siempre creer y confiar en mí. A todos mis familiares.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a Dios.

A mi familia y a mi novio, principalmente a mis padres por darme la fuerza necesaria para seguir y ser siempre mi motor.

A mi querido amigo Livan García por estar conmigo en todos los momentos y ser mi apoyo en todo este tiempo.

A mis tutores Carlos Leyva Rodríguez y Luis Alberto Pérez García, sin su apoyo y guía no se hubiera realizado este trabajo.

A mis colegas del departamento de Geología.

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 apoyo.

A todos MUCHAS GRACIAS.

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en el municipio Moa, con el objetivo de valorar la aplicación de agrominerales y mejoradores de suelos en el municipio Moa, Holguín. Se tuvieron en cuenta tres experimentos, de los cuales dos de ellos se desarrollaron en el organopónico de la Universidad de Moa, un trabajo donde se evaluó un mejorador de suelos a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal y calcilutitas en cultivos de habichuela y otro el empleo de rocas carbonatadas de la localidad de Yaguaneque en suelos lateríticos para el cultivo del pepino. Por último, la evaluación de zeolita cargada con el residual amoniacal, mezclada con tobas vítreas para su utilización como agromineral en la producción del cultivo de pepino, en el organopónico de Miraflores. Como resultado se sistematizaron casos de estudio concretos de la aplicación de agrominerales y mejoradores de suelos en el municipio de Moa, destacando la aplicación de formulaciones a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal y calcilutitas, así como formulaciones a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal mezcladas con tobas vítreas, también se logró establecer la existencia de una amplia variedad de materiales, geológicamente disponibles, con potencialidades para ser utilizados como agrominerales, dentro de estos están las tobas, tanto vítreas como zeolitizadas, las calcilutitas y el residual amoniacal resultante de la industria del níquel.

Palabras claves: agromineral, mejoradores de suelos.

ABSTRACT

The present work was developed in the Moa municipality, with the objective of evaluating the application of agrominerals and soil improvers in the Moa municipality, Holguín. Three experiments were taken into account, of which two of them were developed in the organoponic of the University of Moa, one work where a soil improver based on zeolitized tuff loaded with ammonia residues and calcilutites in bean crops was evaluated and another the use of carbonate rocks from the town of Yaguaneque in lateritic soils for cucumber cultivation. Finally, the evaluation of zeolite loaded with residual ammonia, mixed with vitreous tuffs for use as an agromineral in the production of cucumber crops, in the Miraflores organoponic plant. As a result, specific case studies of the application of agrominerals and soil improvers in the municipality of Moa were systematized, highlighting the application of formulations based on zeolitized tuff loaded with ammonia residues and calcilutites, as well as formulations based on zeolitized tuff loaded with residual ammonia mixed with vitreous tuffs, it was also possible to establish the existence of a wide variety of materials, geologically available, with potential to be used as agrominerals, within these are tuffs, both vitreous and zeolitized, calcilutites and the resulting ammoniacal residual of the nickel industry.

Keywords: agrominerals, soil improvers.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	13
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS	24
1.1 Principales características físico-geográficas	24
1.1.1 Situación geográfica regional del municipio de Moa	24
1.1.2 Situación Geográfica del yacimiento de tobas zeolitizadas San Andrés	25
1.1.3 Ubicación geográfica del yacimiento de tobas vítreas de El Picao Sagua de Tánamo	25
1.2 Características geológicas de materiales a emplear	26
1.2.1 Características geológicas de la región	26
1.2.2 Características geológicas del yacimiento San Andrés	28
1.2.3 Características geológicas del yacimiento El Picao Sagua de Tánamo	29
1.2.4 Geología de la región Yaguaneque	31
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	33
2.1 Trabajos de Campo y Laboratorio	33
2.2 Mejorador de suelos a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal y calcilutitas, en cultivos de habichuela (Garlobo Plutin, 2023)	34
2.2.1 Obtención del agromineral	37
2.2.2 Experimentos realizados con la aplicación del agromineral al cultivo de la habichuela en el organopónico Universidad de Moa	37
2.3 Empleo de rocas carbonatadas de la localidad de Yaguaneque en suelos lateríticos, para el cultivo del pepino (Almira Palacio, 2023).	39
2.3.1 Obtención del agromineral	39
2.3.2 Proceso de encalado	40
2.4 Tobas zeolitizadas cargadas con el residual amoniacal, mezclada con tobas vítreas para su utilización como agromineral en la producción del cultivo de pepino, en el organopónico de Miraflores (Céspedes Piña, 2023).	41
2.4.1 Obtención del agromineral	42
2.4.2 Proceso de aplicación o utilización del agromineral al cultivo de pepino en el organopónico “Miraflores”	43
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	45

3.1 Evaluación de la evolución de las plantas de habichuelas empleando el agromineral, según (Garlobo Plutin, 2023).	45
3.2 Resultados de la cosecha del cultivo del pepino con proceso de encalado, según (Almira Palacio, 2023).	46
3.3 Evaluación de la evolución de las plantas de pepino empleando el agromineral (tobas zeolitizadas cargadas con el residual amoniacal, mezclada con tobas vítreas, organopónico Miraflores) según (Céspedes Piña, 2023).	47
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52

Índice de tablas

Tabla 1 Análisis químicos realizados a la muestra (Lores Trabajo, 2023).	34
Tabla 2 Análisis granulométrico realizado a la muestra.	35
Tabla 3 Composición química del residual amoniacal de la empresa de Níquel Ernesto Guevara	36
Tabla 4 Análisis del contenido de Ni, Co y amonio en el residual amoniacal. ...	36
Tabla 5 Composición química de una muestra de toba zeolitizada del yacimiento San Andrés.....	37
Tabla 6 Composición química de una muestra de toba vitroclástica del yacimiento El Picao Sagua de Tánamo.....	42
Tabla 7 Resultados obtenidos en los experimentos de habichuelas (Garlobo Plutin, 2023).	45
Tabla 8 Resultados obtenidos en los experimentos de pepino (Almira Palacio, 2023).	47
Tabla 9 Composición química del residual amoniacal de la ECECG después de tratado con las tobas zeolitizadas.	47
Tabla 10 Resultados obtenidos en los experimentos de pepino (Céspedes Piña, 2023).	48

INTRODUCCIÓN

Los recursos de Rocas y Minerales Industriales han ocupado siempre un espacio importante en la economía, dada su amplia utilización en diversas ramas de la industria. Ellos poseen además una amplia distribución sobre la superficie de la tierra, siendo una parte de los mismos un factor esencial en el desarrollo y en la fertilidad del suelo (Leyva R. Orozco M.G. y Cuza G., 2022).

Una de las premisas más importantes de un país consiste en desarrollar una agricultura eficiente, para lo cual es necesario conocer que tipos y subtipos de suelos hay, sus propiedades y, sobre todo, el área que ocupa cada uno. De esa forma se podrá conocer la calidad del fondo agrícola con que se cuenta y saber que limitaciones tendrá una producción agrícola sostenida (Hernández-Jiménez, 2021).

La alimentación encuentra su expresión más práctica y el inicio de una solución en el ámbito territorial, por ello necesita un modelo de gestión agrícola que parta desde lo local y promueva cambios hacia niveles superiores. La agricultura, urbana, suburbana y familiar se presentan como componentes locales importantes en la producción de alimentos. En las condiciones de la economía cubana, el Plan de Soberanía Alimentaria y educación nutricional (SAN), aprobado por el Consejo de Ministros en 2020, encierra el objetivo fundamental de hacer cumplir lo establecido en la Constitución (Medina Fonseca, 2024).

Una condición indispensable para esa finalidad apunta a la implementación de un nuevo modelo de gestión económico-productivo, en la agricultura, que abarque todas las formas productivas existentes en el territorio; participativo, integrador y transparente, en armonía con el medio ambiente. Ello demanda la aplicación del enfoque agroecológico, como lo establece el marco conceptual, del plan de acción y los temas estratégicos contenidos en el plan SAN. Sin duda los proyectos deben estar orientados fundamentalmente hacia las actividades agropecuaria e industrial, dado el actual y complejo escenario del déficit alimentario, con vistas a utilizar las potencialidades municipales, según las demandas y prioridades productivas de la economía local y nacional (Medina Fonseca, 2024).

El suelo es el medio natural de donde las plantas toman los nutrientes necesarios para su germinación, crecimiento y desarrollo. Sin embargo, ya sea por razones naturales, o debido a situaciones inducidas, paulatinamente pierde sus propiedades lo que llegan a ser incapaz de suministrar los elementos nutritivos a las plantas en las cantidades adecuadas (Almira Palacio, 2023).

Es por eso que, cuando se habla de agricultura no se puede obviar el uso de fertilizantes que su misión se enmarca en el mejoramiento de los suelos para el desarrollo de dicha actividad. La actual crisis de fertilizantes mantiene en tensión la agricultura en el mundo, lo que exige de alternativas para enfrentar de manera oportuna el problema de la producción agrícola que permita evitar una escasez de alimentos en el futuro (Orozco-Melgar & Cuza-Fernández, 2022).

La experiencia en el estudio y empleo de los minerales naturales por los especialistas cubanos, tanto dentro del país como en su servicio científico técnico a otros países, han posibilitado alcanzar resultados prometedores para el desarrollo de una agricultura acorde a las particularidades de cada región (Leyva R. Orozco M.G. y Cuza G., 2022).

Según Orozco y Cuza (2022) señalan que un agromineral es un beneficiador que se añade al suelo para influir positivamente en su estructura, sus características físico-químicas y en su fertilidad. Lo que contienen propiedades que ayudan a la retención de humedad, reducción de la pérdida de nutrientes y regula el pH de los suelos ácidos y distender los suelos compactos y duros. Por lo que dicha definición se asume para la investigación, ya que integra los diferentes elementos del agromineral.

La zeolita natural como componente mayoritario de las Agromenas, se caracteriza por ser un enmendante del suelo natural por sí sola, descompacta, retiene humedad, intercambia con el suelo los nutrientes liberándolo lentamente, evita la toxicidad al intercambiar cationes tóxicos que retiene en su estructura y es un estabilizador del pH, posibilita un incremento en la capacidad de intercambio del suelo y en el aprovechamiento del agua útil. Este mineral puede por sus propiedades de intercambio y adsorción modificarse y obtener una gama de productos mejoradores de los suelos y por consiguiente de los cultivos (Leyva R. Orozco M.G. y Cuza G., 2022).

La materia orgánica, es uno de los constituyentes fundamentales de la fertilidad de los suelos, su carencia determina bajos tenores de nitrógeno, fósforo, azufre, así como de algunos microelementos. Son muchos los suelos del país que se beneficiarán con la aplicación de las Agromenas, en particular los Alíticos, Ferralíticos y Pardos Sialíticos, los cuales son usados intensamente en la producción agrícola, lo que ha conllevado al deterioro paulatino de sus propiedades fundamentales ocurriendo la degradación de los mismos y demandando cantidades crecientes de materia orgánica y otros minerales (Garrido et al., 2013).

Según (Hernández, 2012) los mejoradores de suelos son productos que se añaden al suelo para influir de manera positiva en su estructura y en su fertilidad. Contrariamente a los fertilizantes, estos no contienen tantos componentes nutritivos para las plantas. Estos productos se pueden utilizar independientemente, o en combinación con fertilizantes y abonos. Su utilización va a lograr suelos más fáciles de trabajar, una mejor relación aire-agua, una optimización de la situación de nutrientes y un aumento de la cantidad de humus.

La provincia de Holguín posee potencialidades no aprovechadas en la actualidad al tener más de cien manifestaciones y depósitos minerales de rocas zeolitizadas y vítreas, distribuidos en todos los municipios. Posee además depósitos de calizas fosfatadas en el municipio de Banes, debiendo ser evaluados actualmente, para el desarrollo agrícola local y regional. Otro recurso mineral muy extendido son las rocas carbonatadas, no siempre tomadas en cuenta para el encalado de suelos ácidos (Leyva R. Orozco M.G. y Cuza G., 2022).

En este sentido, el municipio Moa de la provincia Holguín, presenta suelos lateríticos con dificultades para almacenar agua, una característica que influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El uso de fertilizantes para el tratamiento de los suelos favorece el rendimiento en las cosechas, e incentiva al crecimiento de la producción vegetativa. Por esta razón se evidencia que, se puede poner en riesgo el desarrollo del programa alimentario que se implementa en beneficio de todos y la contribución al crecimiento de la economía nacional (Orozco Melgar & Cuza Fernández, 2022).

Con el objetivo de contribuir a darle solución a la problemática antes expuesta, se están realizando diferentes investigaciones por parte del estado cubano e instituciones del país, entre estas la Universidad de Moa.

La presente investigación se basa en la valoración de las diferentes experiencias de la aplicación de agrominerales y mejoradores de suelos en el municipio de Moa, con el fin de determinar los aspectos positivos de cada una, así como proponer diferentes estudios a raíz de las deficiencias reflejadas en las mismas.

Este trabajo surgió como una necesidad implícita del Proyecto Territorial: producción de agromenas a partir de tobas zeolitizadas y residuales de la industria del níquel en Moa, que está presupuestado por el estado. El mismo pertenece al programa territorial: Aprovechamiento integral de los recursos minerales de la provincia de Holguín.

Problema científico

Necesidad de evaluar la aplicación de agrominerales y mejoradores de suelo en el municipio Moa, en el marco del programa nacional de producción de alimento y el desarrollo de la agricultura urbana.

Objetivo

Valorar la aplicación de agrominerales y mejoradores de suelos en el municipio Moa, Holguín.

Objetivos específicos

- Sistematizar las aplicaciones de agrominerales y mejoradores de suelos en el municipio Moa.
- Caracterizar los materiales geológicamente disponibles.
- Valorar las potencialidades principales y dosificaciones de la aplicación de los agrominerales y mejoradores de suelos en el municipio Moa.

Objeto de estudio

Agrominerales y mejoradores de suelos desarrollados en el municipio Moa.

Campo de acción

Caracterización y valoración del empleo de agrominerales.

Hipótesis

Si se demuestran las características y composición de los agrominerales y mejoradores de suelos en el municipio de Moa, mediante los resultados obtenidos en la aplicación de los mismos, se podrán proponer para su empleo a mayor escala en el municipio de Moa.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

La fertilización de los cultivos es una práctica agronómica importante que permite sustentar unas producciones elevadas y de calidad. El abonado tiene como objetivos restituir los nutrientes que la planta extrae del suelo para completar su ciclo y el enriquecimiento del suelo cuando la concentración en uno o varios elementos sea insuficiente como para asegurar la correcta alimentación del cultivo.

Estos provienen o bien del aire (carbono, hidrógeno y oxígeno) o bien del suelo. Estos últimos que la planta toma de la tierra se pueden dividir en función de la cantidad en que las plantas los demandan:

- **Macronutrientes:** necesarios por la planta en grandes cantidades:
- **Primarios:**

Nitrógeno (N): es el motor de desarrollo en las plantas. Está involucrado en todos los procesos de desarrollo de la totalidad de los órganos de las plantas. Un buen suministro de este macro-elemento facilita la absorción los otros nutrientes.

Fósforo (P): indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de las plantas.

Potasio (K): papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. Aumenta la tolerancia de la planta ante sequía, heladas y salinidad del suelo. Además, se ha demostrado que las plantas con una buena nutrición en potasio son menos susceptibles a enfermedades.

Secundarios:

Magnesio (Mg): componente principal de la clorofila, pigmento responsable del proceso de la fotosíntesis que permite la fijación del carbono.

Azufre (S): constituyente esencial de las proteínas y también involucrado en la formación de la clorofila. Tan importante en el crecimiento de la planta como el fósforo o el magnesio, aunque a menudo subestimado.

Calcio (Ca): esencial para el crecimiento de las raíces y como constituyente de las membranas celulares.

Micronutrientes: son necesarios en cantidades muy pequeñas, no obstante, la planta necesita de ellos para un adecuado desarrollo:

Hierro (Fe): necesario para la formación de la clorofila, además forma parte de enzimas y proteínas. También actúa como catalizador en procesos de oxidación-reducción.

Manganeso (Mn): influye en el aprovechamiento del nitrógeno, también es un elemento importante para la fijación del carbono atmosférico.

Cinc (Zn): influye en la asimilación de nitrógeno y fósforo por parte de la planta. Interviene en la formación de hormonas y proteínas. Favorece un mejor tamaño de los frutos.

Cobre (Cu): interviene en la síntesis de proteínas y enzimas, también actúa en el metabolismo de los carbohidratos.

Boro (B): interviene en el proceso de floración y en la formación del sistema radicular. Además, afecta al aprovechamiento del nitrógeno.

Molibdeno (Mo): importante en la síntesis de proteínas. Ha sido asociado a los mecanismos de absorción y traslación del hierro.

Cloro (Cl): está implicado en la apertura y cierre de estomas y activa varias enzimas.

Se considera que una planta se encuentra en condiciones óptimas de nutrición cuando todos estos elementos esenciales se encuentran en equilibrio. Si uno o varios de los elementos están en deficiencia o en exceso, ocasiona un desequilibrio que acaba interfiriendo con la utilización y disponibilidad de otros nutrientes, aunque estos se encuentren en cantidades suficientes. Para establecer una buena programación de la fertilización de un cultivo es necesario tener en cuenta una serie de aspectos: especie y variedad, densidad de plantación o siembra, estado nutricional de la plantación, etc. Además, habrá que

considerar el nivel de fertilidad del suelo, así como las posibles aportaciones que se puedan efectuar por otras vías.

Efecto de los agrominerales sobre las propiedades del suelo

Según (Orozco Melgar & Cuza Fernández, 2022) plantea que los agrominerales ofrecen una variedad de beneficios que condicionan al suelo para lograr las producciones que permite la oferta ambiental como:

Propiedades físicas

1. Mejora la estructura del suelo.
2. Aumenta la agregación de las partículas y el suelo resiste mejor la erosión.
3. Incrementa la aireación, la permeabilidad y la retención de humedad.

Propiedades químicas

1. Aumenta la capacidad buffer o resistencia a cambios de pH.
2. Aumenta la capacidad de intercambio de cationes.
3. Suministra nutrientes al cultivo.

Propiedades biológicas

Incrementa la actividad de los microorganismos que ayudan a la mineralización de los residuos orgánicos.

Mejorador de suelos

El Centro de investigaciones para la Industria Minero-Metalúrgica (CIPIMM), ha desarrollado tecnologías apropiadas con el objetivo de brindar alternativas de aprovechamiento de los minerales naturales y residuos que contienen elementos útiles para el mejoramiento de las propiedades físico- química de los suelos y por consiguiente de los cultivos. Dispone de una amplia variedad de productos fertilizantes minerales y/o órganos minerales de liberación controlada de usos

agrícolas específicos y generales, denominados Agromenas (Hernández et al., 2002).

Fertilizante: es una sustancia destinada a abastecer y suministrar los elementos químicos al suelo o al follaje para que la planta los absorba. Se trata, por tanto, de una reposición o aporte artificial de nutrientes.

Un fertilizante mineral es un producto de origen inorgánico, que contiene, por lo menos, un elemento químico que la planta necesita para su ciclo vital. La característica más importante de cualquier fertilizante es que debe tener una solubilidad máxima en agua, para que, de este modo pueda disolverse en el agua de riego, ya que los nutrientes entran en forma pasiva y activa en la planta, a través del flujo del agua.

¿Qué es el pH?

Es un parámetro que permite conocer que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, donde las raíces de los cultivos toman los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo.

- Altos contenidos de CaCO_3 bloquea absorción de fósforo, zinc, cobre y boro.
- pH entre 5.5 a 7.0 óptimo para la absorción de nutrientes por los cultivos.

Encalado de los suelos

El encalado es la aplicación de enmiendas calcáreas para elevar el pH del suelo a un nivel neutral (6-7), intervalo en que la mayoría de los nutrientes se ponen disponibles y los elementos tóxicos son insolubles (se precipitan).

El encalado consiste en provocar una disminución de la acidez del suelo donde se ha reducido el pH del suelo como consecuencia del cultivo intensivo que provoca la extracción de nutrientes, también viene provocado por la adición de bases en cantidades insuficientes respecto a la extracción, el empleo de fertilizantes de acción ácida como la urea o las propias características del suelo como se dan en suelos graníticos o pizarrosos. El encalado consiste en incorporar al suelo calcio y magnesio para neutralizar la acidez del mismo, es decir para que el pH alcance un nivel ideal para el desarrollo normal de los cultivos y al mismo tiempo reduzca el contenido del aluminio y manganeso tóxico.

El encalado consiste en la aplicación de materiales básicos al suelo (enmiendas calcáreas) que neutralizan la acidez. Los materiales que se utilizan son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio. Debido a su diferente naturaleza química los productos encalantes presentan una capacidad variable de neutralización.

Encalar mejora las propiedades del suelo y de acuerdo con las necesidades de la planta en elementos nutritivos y condiciones de pH, se producen generalmente mejoras en la productividad. Sin embargo, el exceso del encalado en suelos tropicales es muy peligroso y puede tener resultados catastróficos en la agricultura (Fassbender et al., 1991).

Las prácticas de encalamiento de suelos ácidos en la actualidad son muy frecuentes. Se reconoce la importancia y beneficios del encalamiento, pero dicha práctica no es vista ni bien entendida en su significado y repercusión agronómica.

Cales y enmiendas

Las cales o enmiendas son todo material cuya acción fundamental es el mejoramiento de las condiciones químicas del suelo, particularmente la acidez del mismo. Se refiere a todo material capaz de prevenir o corregir la acidez del suelo. Se conoce como cal principalmente al carbonato de calcio proveniente de rocas calizas o mármol y dolomitas, pero actualmente se utilizan una gran variedad de rocas ultra básicas que algunos las denominan “harinas de roca” para encalar y por eso se habla mejor de enmiendas o correctivos para el suelo.

Las cales o enmiendas usadas en el encalamiento como correctivos de la acidez, son productos comerciales tipificados como fuentes minerales de origen natural o industrial que portan en su composición carbonatos, óxidos, hidróxidos, sulfatos y silicatos de calcio y/o magnesio. Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales difieren en su capacidad para neutralizar la acidez del suelo (Lozada et al., 2004).

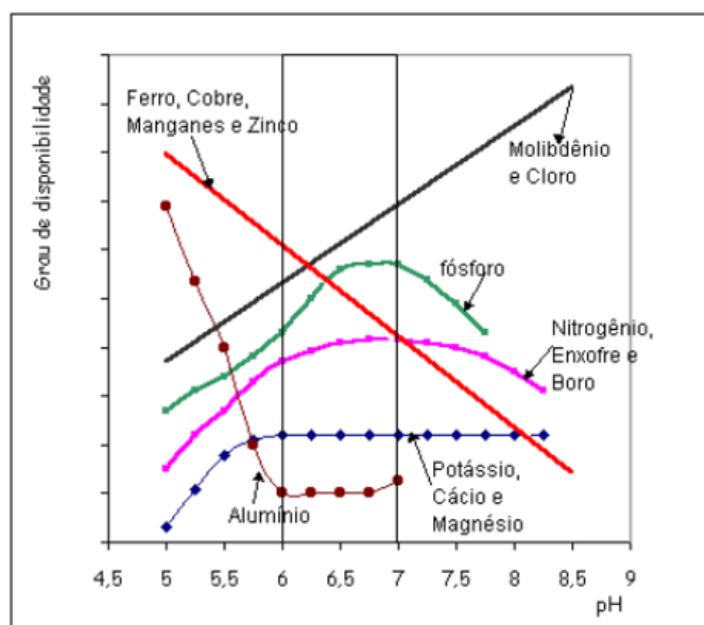
¿Qué importancia tiene el encalado para la fertilidad del suelo?

Son varios los beneficios que se obtienen con el encalado. Además de corregir el pH, aporta calcio (Ca) y magnesio (Mg), elementos esenciales para el buen

desarrollo radicular de la planta y, en consecuencia, mejora la absorción de otros nutrientes a través de la CIC (capacidad de intercambio catiónico).

Además, reduce los efectos tóxicos de las altas concentraciones de aluminio (Al) y manganeso (Mn), que en exceso en el suelo pueden dificultar el enraizamiento. En términos físicos, aumenta la agregación del suelo, lo que a su vez disminuirá la compactación y, nuevamente, creará condiciones más favorables para el desarrollo de las raíces. El valor de pH está directamente relacionado con la disponibilidad de macro y micronutrientes para la absorción de la planta.

Como se muestra en la figura (abajo), un valor de pH bajo, cercano a 5,0, significa que tenemos alta disponibilidad de Aluminio, Hierro, Cobre, Manganeso y Zinc, y baja disponibilidad de Potasio, Calcio y Magnesio.



Disponibilidad de nutrientes según valor de pH.

(Fuente: Malavolta, E. ABC da Adubação. São Paulo: Ceres, 1979)

Tobas Zeolitizadas

Las tobas zeolitizadas se presentan de forma natural en rocas de origen volcánico, y son minerales del grupo aluminosilicatos hidratados compuesto por: aluminio, sílice, hidrógeno y oxígeno; organizado en una estructura tridimensional tetraédrica altamente estable.

La estructura de estos elementos conforma cristales de zeolitas que poseen una red de micro poros conectados entre sí, con diámetros que varían desde 2.5 a 5.0 Å en dependencia del tipo de mineral de Zeolita.

Para su mejor estudio y comprensión, existen dos grandes grupos de Zeolitas: las sintéticas o artificiales y las naturales.

Las zeolitas sintéticas han sido producidas a nivel industrial, después de varios años de intenso trabajo investigativo y de laboratorio. Gracias a ello, se ha logrado un producto similar al obtenido en condiciones naturales, mediante la modificación de sus cationes.

En la producción de estos tipos de zeolitas sintéticas, se ha tomado como patrón para su fabricación, las zeolitas naturales: Faujasita Chabacita y Mordenita fundamentalmente. Esto significa que, la producción de zeolitas sintéticas ha sido a partir de patrones de zeolitas naturales, como requisito fundamental para su producción.

Las zeolitas naturales se agrupan en cantidades significativas que constituyen yacimientos; y se conocen cerca de 50 minerales de esta familia, entre los cuales tenemos los siguientes:

Analcima, Chabacita, Stilbita, Erionita, Gismondita, Faujasita, Laumontita, Mordenita, Clinoptilolita, Gonnardita, Ferrierita, Epistilbita, Filipsita, Natrolita.

La Clinoptilolita y la Mordenita son los minerales zeolíticos más conocidos por sus usos y aplicaciones. La Clinoptilolita, es una Zeolita natural formada a partir de cenizas volcánicas en lagos o aguas marinas hace millones de años. La Clinoptilolita, es la más estudiada y considerada de mayor utilidad; se conoce como adsorbente de ciertos gases tóxicos: como el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de azufre.

La composición de las tobas zeolitizadas naturales es similar a la de los minerales arcillosos que forman los suelos, ya que ambos son aluminosilicatos (Al + Si); sin embargo, presentan diferencias marcadas en su estructura cristalina.

En contraste, las tobas zeolitizadas tienen una estructura cristalina tridimensional rígida (similar a un panal de abejas), conformado por una inmensa red de túneles

y canales conectados entre sí, creando de esta forma una inmensa área superficial para realizar el intercambio, absorción de nutrientes y de humedad. El agua puede entrar y salir libremente de estos poros y no produce cambios en la estructura del mineral, la cual permanece rígida. Otro aspecto especial de la estructura de las tobas zeolitizadas es que las dimensiones de los poros son bastante uniformes permitiendo al cristal actuar como tamiz molecular. Esta porosidad de las tobas zeolitizadas, permite el almacenamiento de moléculas de agua y de iones como: Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio, así como también de una gran variedad de otros cationes, pero solamente de aquellos que poseen un tamaño adecuado para que penetren a través del sistema de poros. La propiedad más importante de las tobas zeolitizadas es la habilidad de intercambiar cationes. Esto se produce cuando ocurre la sustitución de unión de Aluminio por uno de Silicio en el enrejado cristalino de la zeolita, quedando una carga negativa libre en la estructura de ésta, la cual provoca la entrada a los sitios de intercambio, de un catión para la compensación o neutralización eléctrica en el cristal. Esto hace que se incremente la capacidad de intercambio catiónico de la zeolita.

Tobas vítreas

Las tobas vítreas son rocas de origen volcano-sedimentario, son tobas de composición ácida y medias con colores claros grises o beige, muy porosas y ligeras. Predominan las tobas de grano fino y medio, en ocasiones algo alteradas ó montmorillonitizadas, con presencia de carbonato de calcio e interestratificadas con calizas silicificadas, asociados a las rocas de los Arcos Volcánicos (Batista et al., 2011).

Usos de las rocas zeolitizadas en Cuba

El análisis de la estructura de usos de las tobas zeolitizadas, no sólo en Cuba, sino también en otros países, indica que (exceptuando el uso como aditivo hidráulico en la producción de cementos especiales) los principales volúmenes extraídos de tobas zeolitizadas van a la rama agropecuaria, como aditivos en la alimentación animal, mejoramiento de suelos, fertilizantes, desodorizantes, sustrato para producción de posturas in vitro, viveros, zeopónicos, cama de animales en su primera etapa de vida, de mascotas y animales en cautiverio

(como en los zoológicos), en producciones acuícolas de peces y crustáceos, así como en la transportación de sus crías o alevines, etc.

Para ampliar el rango de posibilidades de utilización que tienen las rocas zeolíticas, en los últimos años ha cobrado auge en Cuba la introducción de la denominada Ingeniería de Zeolitas. Esta novedosa práctica permite modificar la composición química y las dimensiones de los canales de las tobas zeolitizadas, sin que cambie en esencia su estructura y el resto de sus propiedades, adaptándolas a determinados requerimientos para usos específicos.

La Norma Cubana NC 625 –Zeolitas naturales – Requisitos de calidad también establece los requisitos de las zeolitas naturales (tobas zeolitizadas) destinadas a los siguientes usos:

- Mejorador de suelos
- Potenciador y portador de fertilizantes
- Producción de sustratos para cultivo de plantas
- Suplemento en la nutrición y salud animal
- Material de construcción
- Aditivos para el cemento
- Conservación de alimentos
- Tratamiento de agua y gases residuales
- Producción de detergentes, cerámica y vidrio
- Uso farmacéutico
- Otros.

Algunos resultados concretos obtenidos en Cuba y en el extranjero con la aplicación de las rocas zeolíticas cubanas en la agricultura:

La utilización de tobas zeolitizadas en la agricultura, está fundamentada en diferentes aspectos que se exponen a continuación:

- Por su alta higroscopicidad las tobas zeolitizadas absorben una gran cantidad de agua procedente de la lluvia o el riego, y la almacenan en sus sistemas de canales internos, para luego cederla lentamente. En caso de grandes sequías el agua acumulada mantendrá un grado tal de humedad que permitirá tener mejores condiciones las zonas radicales de las plantas donde este se ha aplicado.
- Es un almacén de macro y micronutrientes con mínimos riesgos de lavado o lixiviación de nutrientes, lo que supone un importante ahorro de unidades de fertilizantes y una notable reducción de la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos.
- Por su alta capacidad de intercambio catiónico permite un mejor aprovechamiento de los fertilizantes y otros productos aplicados al suelo, lo que permite disminuir las dosis de aplicación, debido a que se reducen considerablemente las pérdidas por lixiviación o volatilización principalmente del nitrógeno.
- Aumenta las disponibilidades de fósforo y potasio del suelo.
- La capacidad de captar el NH_3 y el SH_2 y los metales pesados del proceso compost permiten emplearlo con alta efectividad en los tratamientos de residuales orgánicos de todo tipo.

Basados en los resultados alcanzados por Cross (2010) y Brito et al. (2013) en la fabricación de fertilizantes y mejoramiento de la calidad de los mismos, nos permiten señalar la influencia positiva en:

- Fabricación de fertilizantes de liberación lenta aumentando la retención de nutrientes, lo que permite reducir hasta un 50% la aplicación de los fertilizantes minerales que se aplican tradicionalmente.
- Mejora de los suelos: estructura, retención de humedad, aire, acción, porosidad, densidad, acidez, ascensión capilar, disminuye los contenidos de sodio en el suelo, facilita una mayor estabilidad de los contenidos de materia orgánica del suelo.
- Reduce la cantidad de agua y el costo en fertilizantes, mediante la retención de nutrientes en la zona de las raíces.
- Incrementa la retención de humedad lo que permite reducir las dosis de riego en más del 15%.

- Sustrato para el cultivo de plantas en zeopónicos, huertos intensivos y casas de cultivo.
- Tratamiento de aguas residuales agrícolas.

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS

En el presente capítulo se exponen las principales características físico-geográficas y geológicas de los materiales geológicamente disponibles, así como del residual amoniacal producto del proceso CARON de la fábrica de níquel de la empresa Ernesto Che Guevara del municipio de Moa.

1.1 Principales características físico-geográficas

1.1.1 Situación geográfica regional del municipio de Moa

El área de estudio se encuentra enmarcada en la zona del municipio de Moa, el cual se ubica al noreste de la provincia de Holguín, limita al Este con el municipio Baracoa, separados por los ríos Jiguaní y Jaguaní; al Sur con el municipio de Yateras, cuya frontera la establece el origen del río Toa; al Oeste con los municipios Frank País y Sagua de Tánamo; y al Norte con el Océano Atlántico. El municipio posee una franja costera de unos 40 Km, que se extiende desde Playa La Vaca hasta la desembocadura del río Jiguaní. Próximos a la costa se encuentran Cayo Moa Grande, Cayo Chiquito y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey. La Región en estudio tiene un área de 732,18 Km², la cual forma parte del grupo montañoso Sagua – Moa - Baracoa (Moreira Chacón, 2015).

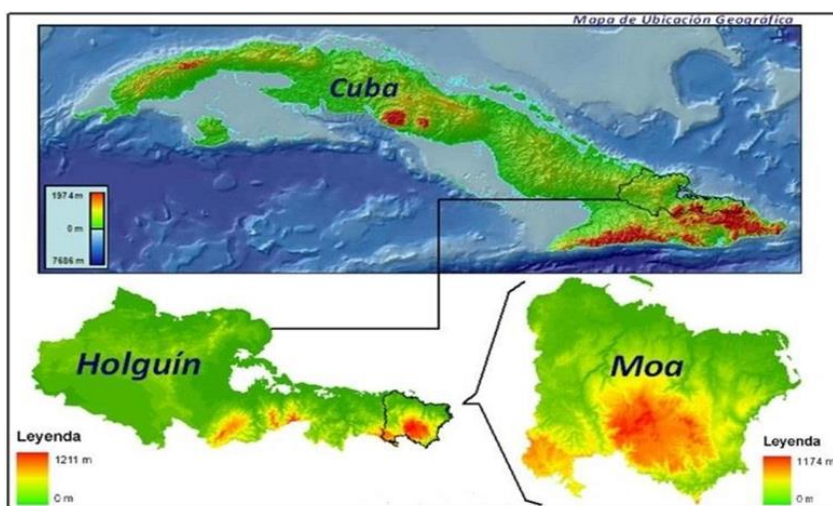


Figura 1: Esquema de ubicación geográfica (Cruz Ramírez, 2019).

1.1.2 Situación Geográfica del yacimiento de tobas zeolitizadas San Andrés

El yacimiento San Andrés se localiza a 23 kilómetros al Noroeste de la ciudad de Holguín y a 3 kilómetros al Sur del poblado San Andrés (Figura 2); tiene una amplitud que va de 55 a 200 metros y una longitud de 1200 metros, abarcando 22,87 hectáreas. El yacimiento está dado en Concesión de Explotación y Procesamiento a la UEB Geominera Holguín perteneciente a la empresa Geominera Oriente.



Figura 2. Esquema de ubicación del sector San Andrés, Holguín.

1.1.3 Ubicación geográfica del yacimiento de tobas vítreas de El Picao Sagua de Tánamo

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.

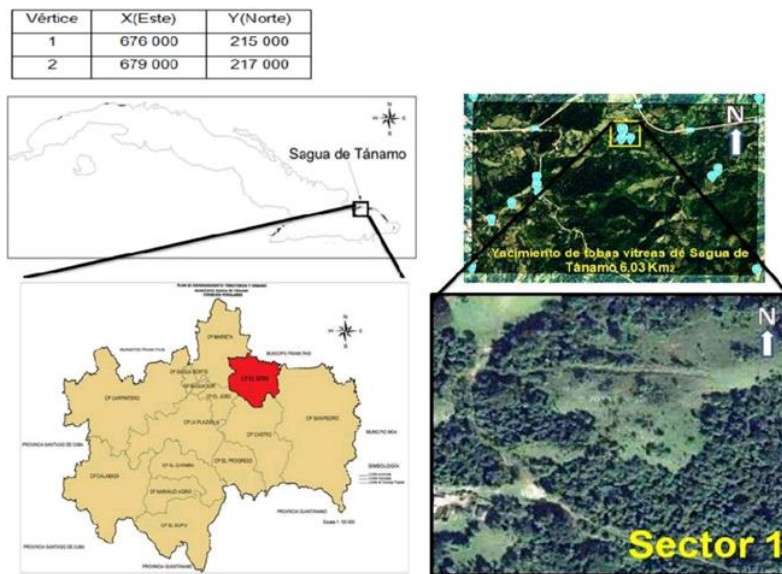


Figura 3: Esquema de los sectores prospectados por la EGMO en el depósito de tobas vítreas Sagua de Tánamo (Bandera y otros, 1997).

1.2 Características geológicas de materiales a emplear.

1.2.1 Características geológicas de la región

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el decursar del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objeto de la investigación. En 1998, Iturralde-Vinent reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el Cinturón Plegado y el Neoautóctono. El Cinturón Plegado según el autor, 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 las unidades geológicas que lo integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas. En el área de estudio no se encuentran representadas las unidades continentales. 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 neoautóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado. En el área de estudio existe un desarrollo considerable de los complejos ultramáfico, de gabros y volcano-sedimentario (Proenza, Gervilla, et al., 1999; Proenza, Solé, et al., 1999).

Según Fonseca y otros (1985) el espesor aproximado del complejo ultramáfico es de 1000 metros y el de gabros de 500 metros. Quintas (1989) estima un espesor de 1200 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, wherlitas, lherzolitas, y piroxenitas (Proenza, Gervilla, et al., 1999; Proenza, Solé, et al., 1999).

Los cumulos de gabros forman grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico. La dimensión de estos cuerpos oscila 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. Muchas veces los gabros están cubiertos por mantos de rocas ultramáficas (Fonseca y otros, 1985), aunque Andó y otros (1989) plantean que en algunos sectores el contacto es transicional.

Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronorita, gabros, anortositas y noritas (Cobiella-Reguera et al., 1984; Proenza, Gervilla, et al., 1999; Proenza, Solé, et al., 1999; Ríos-Martínez & Cobiella-Reguera, 1984). Las secuencias del arco de islas volcánico del Cretácico están representadas por las rocas de la Fm. Téneme (Cretácico Superior-Inferior), integrada fundamentalmente de basaltos, andesitas basálticas, tobas y brechas (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Proenza, Gervilla, et al., 1999; Proenza, Solé, et al., 1999)

Las secuencias del arco de islas volcánico del Paleógeno están representadas por la Formación Sabaneta (Daniano-Eoceno Medio) (Cobiella-Reguera et al., 1984; Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Proenza, Gervilla, et al., 1999; Proenza, Solé, et al., 1999; Ríos-Martínez & Cobiella-Reguera, 1984). La cual yace sobre una

secuencia de transición que contiene finas intercalaciones de tufitas (Fm. Gran Tierra) (Iturralde-Vinent, 1976) o descansa discordantemente sobre las formaciones Mícara y La Picota, y sobre las ofiolitas y vulcanitas cretácicas. La misma está compuesta por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, lutitas, margas, gabelitas, conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas, y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 6000 m de espesor. Otros autores como es el caso de (Albear et al., 1988), dividen esta formación en Castillo de los Indios (Eoceno Inferior-Medio) y Miranda (Paleoceno-Eoceno) (Figura 4), (Gyarmati et al., 1997) mientras que la divide en Sabaneta y Castillo de los Indios. Todas ellas con características similares.

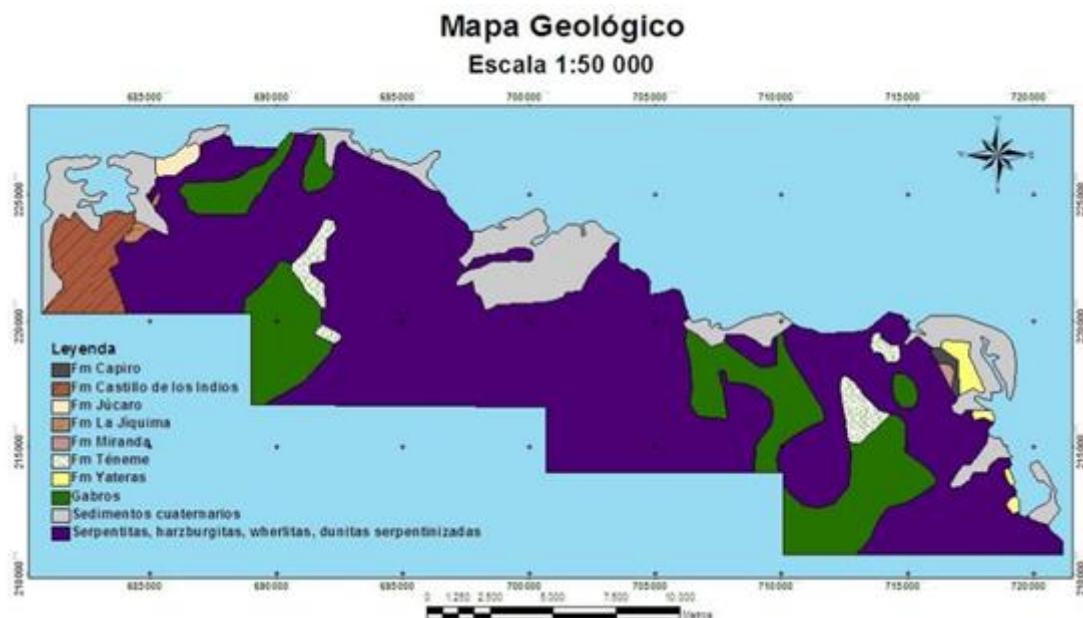


Figura 4: Mapa Geológico. Escala 1:50 000 (Modificado de Rodríguez, A. 1998a)

1.2.2 Características geológicas del yacimiento San Andrés

El yacimiento de tobas zeolitizadas San Andrés se desarrolla en una secuencia de rocas vulcanógeno sedimentarias de edad cretácica, dentro de los límites de la formación Loma Blanca. Estructuralmente el yacimiento tiene una forma estrecha y alargada con dirección NE–SW a modo de escama tectónica con una extensión de algo más de 1 km, limitada por fallas. La región es atravesada por

numerosas fallas que afectan mayormente el piso estructural inferior, se observan dos sistemas fundamentales con direcciones NW-SE y NE-SW (Nagy, 1984).

Las variedades litológicas presentes en el yacimiento son: tobas vitroclásticas, tobas vitrocrystaloclasticas, calizas tobáceas con intercalaciones de tufitas, areniscas tobáceas, calizas biomórficas silicificadas y andesita-basalto. De manera general predominan las tobas vitroclásticas de composición andesito-dacítica, grano fino y color verde claro, en ocasiones algo amarillentas. Las tobas presentan diferentes grados de zeolitización y espesores variables al igual que el buzamiento (Rizo et al, 1988).

Las tobas zeolitizadas están compuestas por mezclas de más de dos tipos de minerales de zeolitas entre estos están la clinoptilolita-heulandita, mordenita y raramente la desmina, como minerales acompañantes están el cuarzo, la calcita, la montmorillonita y los feldespatos (Rizo et al., 1988). La concentración promedio de minerales del grupo de las zeolitas en el depósito es del 75 %, lo que denota su excelente calidad (Rizo, 2009)

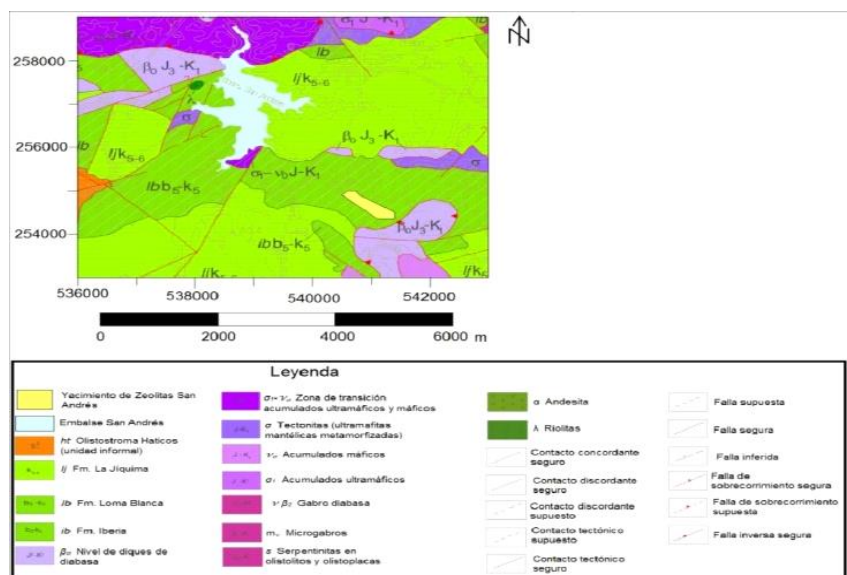


Figura 5: Esquema geológico del área de estudio (Adaptado del mapa geológico de la República de Cuba 1: 100 000. IGP, 2011. Hoja 4978, Holguín).

1.2.3 Características geológicas del yacimiento El Picao Sagua de Tánamo

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 2) 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 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%.

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

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).

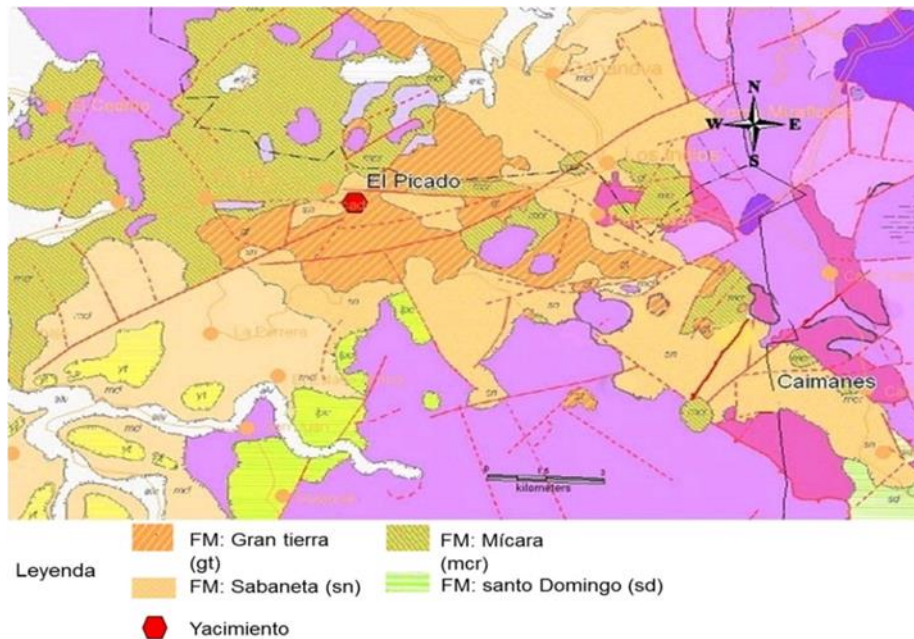


Figura 6: Esquema geológico del área de estudio (tomado de Banderas et al., 1997).

1.2.4 Geología de la región Yaguaneque

En nuestra área de estudio hacia el extremo SE ultramafitas serpentinizadas (J3 – K1) con diferentes grados de alteración, caracterizándose por presentar texturas masivas, las rocas más frescas se observan bastante agrietadas y fracturadas.

Un amplio desarrollo en esta zona lo tienen las rocas de la Fm-Mucaral, la cual está compuesta por calizas-margosas y órgano-detriticas de color crema, estratificadas y con espesores variables. Raramente se ven intercalaciones de areniscas tobáceas. Los ángulos de buzamiento oscilan entre 20 y 30 grados hacia la superficie y hasta los 13m de profundidad se observan margas de color crema, arcillosas de granos finos y medios, estratificación gruesa y con un ángulo de buzamiento de 25 grados.

La formación está constituida principalmente por margas, margas arcillosas y margas calcáreas, bien estratificada en capas de 5 a 20 cm con intercalaciones frecuentes de calizas margosas biodetríticas, más raramente de areniscas y gravelitas calcáreas. La secuencia en su parte inferior de 20 a 50 m de espesor tiene intercalaciones frecuentes de margas y calizas tobáceas, de tobas y tufitas

redepositadas de la Fm Sabaneta que es en varios lugares su subyacente. Al SE de Cañas aflora una secuencia conglomerática basal, con fragmentos de tobas de la Fm Sabaneta y con guijarros de las formaciones La Picota y Santo Domingo. Se pueden establecer algunas variaciones litológicas en el territorio dentro de la Fm Mucaral, como, por ejemplo: en la zona de los ríos Sagua y Castro la secuencia es algo más calcárea que en la zona de La Somanta y Malpared, y en los alrededores de Yaguaneque tiene una cantidad elevada de fragmentos de calizas y rocas magmáticas.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describe la metodología usada en esta investigación, la cual estuvo dividida en tres etapas fundamentales. En la primera etapa se realizó una revisión bibliográfica de los materiales que guardan relación con la investigación. La segunda etapa estuvo dirigida hacia los trabajos de campo y laboratorio realizados junto a estudiantes de trabajos de diploma (Almira Palacio, 2023; Garlobo Plutin, 2023; Yalima Céspedes Piña, 2023), y en la tercera etapa se realizó la interpretación de los resultados.

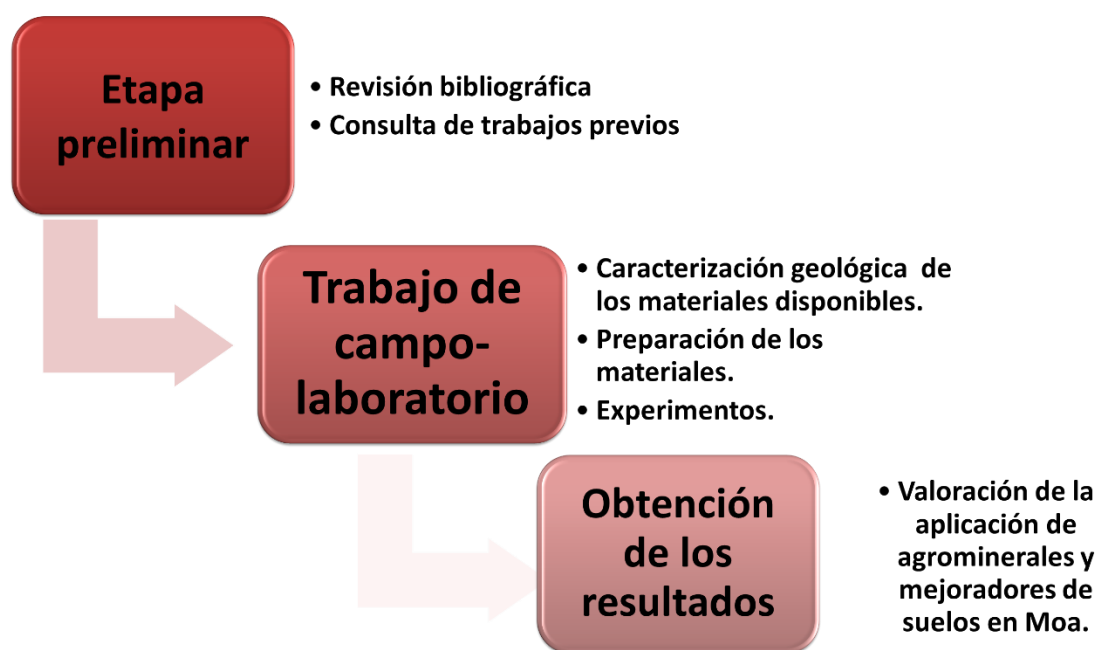


Figura 7: Metodología de los trabajos realizados.

2.1 Trabajos de Campo y Laboratorio

Los trabajos fueron realizados junto a estudiantes de trabajos de diploma de la Universidad de Moa, a partir del Proyecto Territorial: Producción de agromenas a partir de tobas zeolitizadas y residuales de la industria del níquel en Moa, presupuestado por el estado. El mismo pertenece al programa territorial: Aprovechamiento integral de los recursos minerales de la provincia de Holguín.

Se realizó el trabajo de campo para el reconocimiento, localización y extracción de las materias primas y métodos analíticos para caracterizar la composición química de los materiales utilizados. El mismo se dividió en varios experimentos.

2.2 Mejorador de suelos a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal y calcilutitas, en cultivos de habichuela (Garlobo Plutin, 2023).

Se tuvo en cuenta como área de estudio el organopónico de la Universidad de Moa, ubicado en el Consejo Popular Las Coloradas.

Como fuente de carbonato de calcio se utilizaron calcilutitas, que fueron tomadas del poblado Yaguaneque ubicado en el complejo Sagua-Moa. Esta área se abrió para realizar un estudio preliminar de las rocas carbonatadas aflorables de la zona, con el objetivo de analizar la respectiva como materia prima para la utilización como fertilizante para la agricultura.

Para la apertura de esta área tomamos como elemento principal el desarrollo de las margas de las formaciones Mucaral y Júcaro en las cercanías de ciudad de Moa (Yaguaneque).

La composición química del material carbonatado se presenta en la **Tabla 1**. El material se caracteriza por un alto contenido de CaO y elevado PPI, lo que indica que es un material rico en carbonato. El contenido de calcita estimado, a partir de la composición química, asumiendo que el contenido reportado de CaO se encuentra asociado únicamente a la calcita es de 93.20 %. La presencia de Al₂O₃ y SiO₂ indica que la calcita está en asociación paragenética con otros minerales, como pueden ser las arcillas (Lores Trabajo, 2023)

Tabla 1 Análisis químicos realizados a la muestra (Lores Trabajo, 2023).

Muestras	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Otros	PPI
Material carbonatado	1.34	0.04	ND	ND	3.02	1.77	52.22	0.15	1.44	40.02

La figura 8 muestra la composición mineralógica de la muestra 1. Esta muestra presenta altos contenidos de calcita lo que está en correspondencia con la composición química. Además de esto se ven reflejados minerales como el cuarzo y montmorillonita que pueden estar asociados a los elementos SiO₂ y Al₂O₃ que se presentan anteriormente en los análisis químicos.

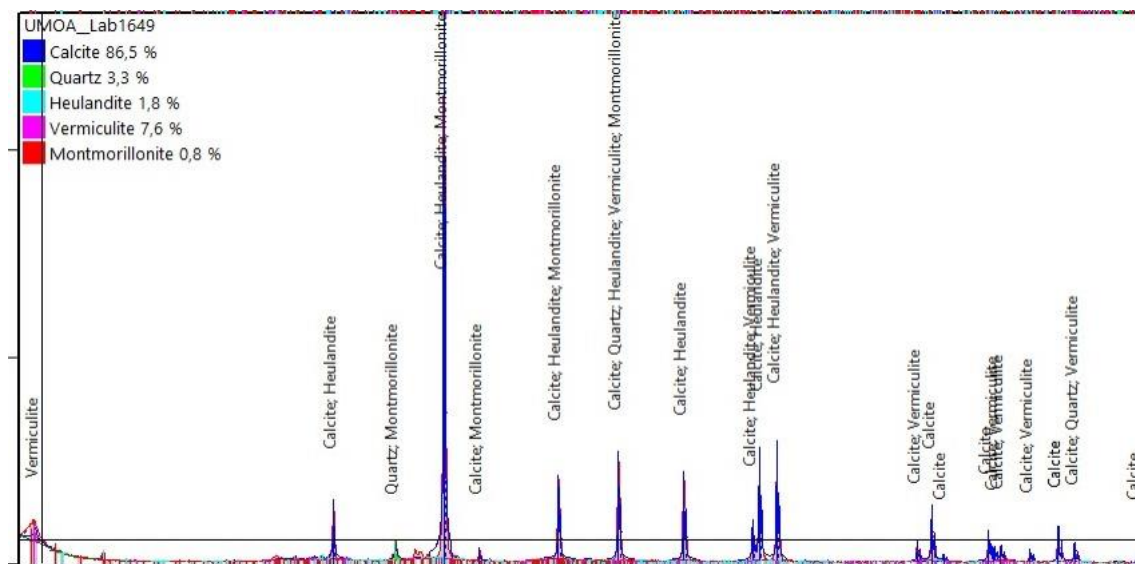


Figura 8: Difractograma de la muestra de material carbonatado de Yaguaneque (Lores Trabajo, 2023).

Los análisis granulométricos indican que el material presenta una granulometría fina **Tabla 2**. Esto se puede comprobar porque hasta los 0.044mm la muestra logra atravesar las mallas en más del 90%. Según la clasificación de (Folk, 1974) atendiendo al tamaño de partículas, estas rocas se clasifican como calcilitita gruesa.

Tabla 2 Análisis granulométrico realizado a la muestra.

N	D, mm	D, μ m	Masa (g)	% Peso	% Retenido acumulativo	% Cernido acumulativo
1	5	5000	0	0.000	0.000	100.000
2	+3.15	3150.000	2.744	0.274	0.274	100.000
3	-3.15+3	3000.000	0.721	0.072	0.346	99.726
4	-3+1.5	1500	1.0009	0.100	0.447	99.654
5	-1.5+1	1000.000	3.838	0.384	0.830	99.553
6	-1+0.85	850.000	1.167	0.117	0.947	99.170
7	-0.85+0.6	600.000	0.765	0.076	1.024	99.053
8	-0.6+0.4	400.000	1.792	0.179	1.203	98.976
9	-0.4+0.3	300.000	0.907	0.091	1.293	98.797
10	-0.3+0.2	200.000	2.160	0.216	1.509	98.707
11	-0.2+0.16	160.000	33.069	3.307	4.816	98.491
12	-0.16+0.074	74.000	35.473	3.547	8.364	95.184
13	-0.074+0.044	44.000	8.707	0.871	9.234	91.636
14	-0.044+0	0.000	907.657	90.766	100.000	90.766

Como fuente de amonio se empleó el residual amoniacal resultante del proceso de obtención del níquel en la fábrica Ernesto Che Guevara, cuyo análisis químico se realizó en el Centro de investigaciones del níquel de Moa, empleándose la siguiente metodología:

-UPL-PT-A-11 Determinación de Ni, Co, Fe, Cu, Zn, Mn, Mg, Al, Cr, Si, V, Pb. Método de Espectrofigurametría de Absorción Atómica.

-UPL-PT-V-15 Determinación de amoníaco destilado. Método valorado.

-UPL-PT-V-04 Determinación de amoniaco en licores. Método valorado.

Expresión de los resultados: mg/l

En la **Tabla 3** se aprecia el análisis químico del residual amoniacal, según (AGUIRRE, 1999), y en la **Tabla 4**, la composición del residual que se utilizó en el presente trabajo.

Tabla 3 Composición química del residual amoniacal de la empresa de Níquel Ernesto Guevara

NH3	Ni	Co	Fe	Mn
1,5 a 2 g/L	30-40 mg/L	0,25-0,3 mg/L	0,1-0,15 mg/L	0,6-0,7 mg/L

Tabla 4 Análisis del contenido de Ni, Co y amonio en el residual amoniacal.

No.	Código	Fecha	mg/l	Ni	mg/l	Co	mg/l	NH3
1346	R-I (residual amoniacal inicial)	24/06/2021	5,00	±	1,00	±	1951,6	±

Las tobas zeolitizadas empleadas en el presente trabajo provienen del yacimiento San Andrés y su composición química puede apreciarse en la **Tabla 5**.

Tabla 5 Composición química de una muestra de toba zeolitizada del yacimiento San Andrés

Óxido	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
%	65,55	0,276	11,75	1,43	2,824	0,947	1,376	1,677

Fuente: Almenare, 2011. Tesis Maestría: Perspectiva de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico (Almenares Reyes, 2011).

2.2.1 Obtención del agromineral

Para la obtención del agromineral se utilizó en primer lugar un proceso de intercambio iónico de la toba zeolitizada con el residual amoniacal. Se pusieron en contacto las tobas zeolitizadas con el licor residual por un tiempo de 2 horas, a temperatura ambiente, para propiciar el intercambio catiónico.

La granulometría de las tobas zeolitizadas fue de 1 a 3 mm, según lo recomendado por (Soca & Daza-Torres, 2016) para su empleo en la agricultura. Se agregó el licor residual a un tanque lleno de tobas zeolitizadas de forma tal que el líquido sobrenadara a las tobas de 1 a 2 cm por encima. Calculándose que por cada kilogramo de toba zeolitizada se requiere 1,1 litro del licor residual amoniacal. Después de transcurridas las 2 horas se drenó el licor y se tomó una muestra del líquido residual para corroborar si en efecto hubo intercambio.

2.2.2 Experimentos realizados con la aplicación del agromineral al cultivo de la habichuela en el organopónico Universidad de Moa.

El terreno seleccionado fue un cantero con dimensiones de 1 m de ancho por 23 m de largo con una altura de aproximadamente 0,30 m. El sustrato fue preparado con buena labranza y buen drenaje con el objetivo de facilitar el desarrollo del sistema radicular y evitar la saturación del suelo por humedad.

Los experimentos realizados fueron:

E-1. Cultivo de habichuela en suelo laterítico testigo.

E-2. Cultivo de habichuela empleando una mezcla con 2 Kg de calcilutitas. Más 1 kg de toba zeolitizada cargada y de calcilutitas. De estas últimas fueron 50 % de cada una.

E-3. Cultivo de habichuela empleando una mezcla con 4 Kg de calcilutitas. Más 1 kg de toba zeolitizada cargada y de calcilutitas. De estas últimas fueron 50 % de cada una.



Figura 9: Preparación del sustrato y aplicación del agromineral.

Primeramente, se realizó una preparación del suelo para lograr una disminución de la acidez del mismo y así estabilizar su pH. Se realizaron tres divisiones, en la primera una mezcla de 2 kg/m² de rocas carbonatadas directamente al suelo, en la segunda el mismo procedimiento, pero empleando 4kg/m². La última quedaría como muestra testigo totalmente un suelo laterítico.

Posteriormente, se hizo una mezcla 50/50 de calcilutitas con las tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal, las que vertimos directamente en cada cajete previo a la siembra de la habichuela.

Las precipitaciones se comportaron favorables durante estos experimentos, por lo que no hubo necesidad de aplicar regadío.

2.3 Empleo de rocas carbonatadas de la localidad de Yaguaneque en suelos lateríticos, para el cultivo del pepino (Almira Palacio, 2023).

Se utilizaron áreas del organopónico de la Universidad de Moa situado en el reparto de Las Coloradas, municipio Moa, provincia Holguín. Se realizó entre los meses de septiembre, octubre y principios de noviembre del 2023.

Las precipitaciones se comportaron favorables durante estos experimentos, por lo que no hubo necesidad de aplicar regadío.

El ensayo de la corrección de suelo se efectuó en un cantero de dicho organopónico, el cual cuenta con medidas de 1m de ancho y 23m de largo con una altura aproximada de 30cm.

Como fuente de amonio se empleó el residual amoniacal resultante del proceso de obtención del níquel en la fábrica Ernesto Che Guevara, cuyo análisis químico se realizó en el Centro de investigaciones del níquel de Moa, ver **Tabla 3** y **Tabla 4**.

Las tobas zeolitizadas empleadas en el presente trabajo provienen del yacimiento San Andrés, ver composición química en la **Tabla 5**.

2.3.1 Obtención del agromineral

Para la obtención del agromineral se utilizó en primer lugar un proceso de intercambio iónico de la toba zeolitizada con el residual amoniacal. Se prepararon las tobas zeolitizadas con el licor residual por un tiempo de 2 horas, a temperatura ambiente, para propiciar el intercambio catiónico.

La granulometría de las tobas zeolitizadas fue de 1 a 3 mm, según lo recomendado por (Soca & Daza-Torres, 2016) para su empleo en la agricultura. Se agregó el licor residual a un tanque lleno de tobas zeolitizadas de forma tal que el líquido sobrepasara a las tobas de 1 a 2 cm por encima. Calculándose que por cada kilogramo de toba zeolitizada se requiere 1,1 litro del licor residual amoniacal. Después de transcurridas las 2 horas se drenó el licor y se tomó una muestra del líquido residual para corroborar que el intercambio se realizó.

2.3.2 Proceso de encalado

Para el proceso de encalado primeramente se hizo una limpieza del cantero, luego se dividió el mismo en dos partes iguales para la realización del experimento. La primera parte del cantero se denominó VARIANTE A y se le aplicó 2kg de calcilutitas, luego se mezcló a una profundidad mínima, y se realizó la misma operación con la segunda mitad del cantero, a la que se le denominó VARIANTE B, cambiando la aplicación de las calcilutitas aquí, pues en vez de utilizar 2kg se aumentó a 4kg, también se mezcló a una profundidad mínima. Todo esto con el objetivo de que cuando se haga la siembra, se pueda observar cuál de los dos es más efectivo para el desarrollo de la planta. A la VARIANTE C o testigo cero, no se le aplicó ningún tipo de fertilizante ni corrector de pH, este también con el objetivo de tener una mayor visión de cuál de los tres experimentos es más efectivo para la siembra de pepino. Posteriormente, se hizo una mezcla 50/50 de calcilutitas calcáreas con las tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal, las que vertimos directamente en cada cajete previo a la siembra de pepino.

El método que se aplicó para la preparación del suelo fue manual.



Figura 10: Aplicación de las calcilutitas de forma manual.

En la figura 10 se muestra el modo de aplicación de las calcilutitas en el cantero destinado para la siembra de pepino, **A** muestra la trituración de los granos que

quedaron cuando las mismas fueron molidas, en **B y C** se muestra la aplicación de los 2kg.



Figura 11: División del cantero para la aplicación del mejorador de suelo.

En la figura 11 se muestran la división que se realizó a dicho cantero donde fueron aplicadas los 4 kg de calcilutitas.

Pasadas 24 horas, se realizó una segunda mezcla del material carbonatado al suelo destinado para la siembra de pepino, donde fueron utilizados utensilios de ayuda como el azadón y la pala para una mejor mezcla. Después de tener el suelo listo se procedió a la siembra de las semillas de pepino. La germinación de los pepinos de variedad Puerto Padre duro máximo 7 días.

2.4 Tobas zeolitizadas cargadas con el residual amoniacal, mezclada con tobas vítreas para su utilización como agromineral en la producción del cultivo de pepino, en el organopónico de Miraflores (Céspedes Piña, 2023).

Se tuvo en cuenta como área de estudio el organopónico Miraflores ubicado en el Consejo Popular de igual nombre perteneciente a la UEB Granja Urbana de la Empresa Agroforestal Moa durante los meses de julio-agosto 2023. Se utilizó la variedad de pepino Puerto Padre.

Como fuente de amonio se empleó el residual amoniacal resultante del proceso de obtención del níquel en la fábrica Ernesto Che Guevara, cuyo análisis químico se realizó en el Centro de investigaciones del níquel de Moa, ver **Tabla 3 y Tabla 4**.

Las tobas zeolitizadas empleadas en el presente trabajo provienen del yacimiento San Andrés, ver composición química en la **Tabla 5**.

Las tobas vitroclásticas empleadas en el presente trabajo se obtuvieron en la zona de El Picao, Sagua de Tánamo. La composición química de una muestra de toba vitroclástica se observa en la tabla 6. Las tobas vitroclásticas contienen elementos químicos de gran aplicación en el sector agrícola. Su contenido de magnesio, hierro, potasio y calcio avalan su accionar en el mejoramiento de los suelos para potenciar el desarrollo de los cultivos. La granulometría utilizada fue de 0,1 a 0,8mm.

Tabla 6 Composición química de una muestra de toba vitroclástica del yacimiento El Picao Sagua de Tánamo.

Óxido	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
%	60,86	0,49	13,63	4,58	5,34	2,64	1,87	2,27

Fuente: Almenare, 2011. Tesis Maestría: Perspectiva de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico (Almenares Reyes, 2011).

2.4.1 Obtención del agromineral

Para la obtención del agromineral se utilizó, en primer lugar, un proceso de intercambio iónico de la toba zeolitizada con el residual amoniaco. Se pusieron en contacto las tobas zeolitizadas con el licor residual por un tiempo de 2 horas, a temperatura ambiente, para propiciar el intercambio catiónico. La granulometría de las tobas zeolitizadas fue de 1 a 3 mm, según lo recomendado por (Soca & Daza-Torres, 2016) para su empleo en la agricultura. Se agregó el licor residual a un tanque lleno de tobas zeolitizadas de forma tal que el líquido sobrenadara a las tobas de 1 a 2cm por encima. Calculándose que por cada kilogramo de toba zeolitizada se requiere 1,1 litro del licor residual amoniaco. Después de transcurridas las 2 horas se drenó el licor y se tomó una muestra del líquido residual. Una vez secadas al aire, las tobas zeolitizadas se mezclaron en proporción 1:1 con tobas vitroclásticas.

2.4.2 Proceso de aplicación o utilización del agromineral al cultivo de pepino en el organopónico “Miraflores”.

El terreno seleccionado fue un cantero con dimensiones de 1 m de ancho por 23 m de largo con una altura de aproximadamente 0,30 m. El sustrato fue preparado con buena labranza y buen drenaje con el objetivo de facilitar el desarrollo del sistema radicular y evitar la saturación del suelo por humedad.



Figura 12: Preparación del sustrato.

La siembra se efectuó con la aplicación del agromineral. La dosificación utilizada fue de 64 gramos. Se aplicó un sistema de riego por aspersión dos veces por día durante 45 minutos, a diferencia de los experimentos anteriores, pues este se realizó en periodo de seca. El trasplante se realizó en un ambiente fresco en horario vespertino, con suficiente humedad y con semillas de calidad.



Figura 13: Aplicación del mineral (1). Variedad (2).

La siembra se realizó el 20 de julio con la aplicación del agromineral resultante de las tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal del proceso CARON de la fábrica de níquel de la empresa Ernesto Che Guevara del municipio de Moa mezcladas con tobas vítreas como habíamos expuesto antes. En los 20 días de haberse realizado la siembra (figura 14) se continuaron las labores agrícolas de aporque de las plantas en desarrollo, limpieza del área del experimento y desinfección de malas hierbas. El cultivo presentó una coloración verde oscuro lo que significa efectividad en el proceso de fotosíntesis, observando la floración del cultivo. Al término de los 41 días se produjo la cosecha de pepino lo que demuestra que hubo una evolución eficaz y se obtuvo un adelanto del fruto, esto lo podemos apreciar en la (figura 15). A los 60 días aproximadamente se produjo un deterioro del cultivo a causa de la sequía producida durante los meses de julio y agosto, esto lo podemos apreciar en la (figura 15).



Figura 14: Desarrollo a los 20 días (1). Floración de la planta (2)



Figura 15: Obtención del fruto (1). Deterioro del cultivo en Moa (2)

CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Introducción

De acuerdo a los trabajos realizados junto a las diplomantes (Almira Palacio, 2023; Garlobo Plutin, 2023; Yalima Céspedes Piña, 2023) se pudo llegar a un análisis a partir de los resultados obtenidos en los mismos, así como realizar una valoración de la aplicación de los agrominerales y mejoradores de suelos empleados.

3.1 Evaluación de la evolución de las plantas de habichuelas empleando el agromineral, según (Garlobo Plutin, 2023).

La siembra se realizó en un ambiente fresco en horario vespertino, con suficiente humedad y con semillas de calidad. La efectividad del proceso fue buena debido a que de un total de plantas sembradas sólo 3 plantas no germinaron.



Figura 16: Cultivo de habichuelas día 15 posterior al nacimiento (A). Evolución del cultivo tras 27 días posteriores a su nacimiento (B).

Tabla 7 Resultados obtenidos en los experimentos de habichuelas (Garlobo Plutin, 2023).

Muestras	Primera cosecha (53 días) (kg)	Segunda cosecha (61 días) (kg)	Tercera cosecha (65 días) (kg)	Cuarta cosecha (69 días) (kg)	Total (kg)
E-1	1,35	1,60	0,84	0,54	4,33
E-2	1,75	2,20	1,24	0,93	6,63
E-3	3,50	4,15	2,32	1,45	11,42

También se pudo comprobar que el encalado del suelo fue eficaz, ya que en el experimento 3 fue mayor la producción de habichuelas, se realizaron 4 cosechas en las cuales se recogió alrededor de 22,32 Kg de habichuelas.

En la muestra testigo, donde solo se sembró en suelo eminentemente laterítico, se evidenció que fue donde menor producción hubo, pudiendo afirmar que el agromineral logró un efecto positivo en el rendimiento.

3.2 Resultados de la cosecha del cultivo del pepino con proceso de encalado, según (Almira Palacio, 2023).

La humedad provocada por los aguaceros torrenciales en el municipio de Moa, el 12 de noviembre de 2023, provocó grandes inundaciones en lugares bajos, unido a la humedad de esa última etapa se tuvo que adelantar la primera cosecha. Esto desarrolló con intensidad una plaga, la cual se fue incrementando, sobre todo en la parte más baja de la zona de los canteros.

Resulta interesante apuntar que esa zona de los últimos tres metros del cantero, coincidió con la zona donde se acumulaba una mayor humedad, al parecer producto de un mayor arrastre de nutrientes, gracias a esto se pudo comprobar un mayor rendimiento de la cosecha en tamaño y número de frutos. Existiendo la coincidencia de un mejor desarrollo de la cosecha ayudada por la mayor humedad, pero finalmente afectada en mayor medida por el desarrollo de la plaga.



Figura 16: Desarrollo del cultivo de pepino organopónico UMoA.

Tabla 8 Resultados obtenidos en los experimentos de pepino (Almira Palacio, 2023).

Experimentos	Primera cosecha (44) días		Segunda cosecha (53) días		Tercera cosecha (61) días		Total	
	Frutos	Peso (kg)	Frutos	Peso (kg)	Frutos	Peso (kg)	Frutos	Peso (kg)
Testigo	24	5,86	21	6,1	6	3,80	51	15,76
2 kg de encalado	38	8,62	42	9,4	12	4,10	92	22,11
4 kg de encalado	56	12,36	54	11,7	16	6,25	126	30,31

3.3 Evaluación de la evolución de las plantas de pepino empleando el agromineral (tobas zeolitizadas cargadas con el residual amoniacal, mezclada con tobas vítreas, organopónico Miraflores) según (Céspedes Piña, 2023).

Se comprobó que en el proceso de interacción de las tobas zeolitizadas con el residual amoniacal, las mismas muestran una elevada capacidad de remoción del amonio. El análisis químico que se observa en la **Tabla 9** indica que la efectividad de remoción es del 99%, pues de una concentración inicial de amonio de 1951,6 mg/L (**Tabla 4**), luego del intercambio, el licor residual resultante tiene una concentración de amonio de 13,6 mg/L.

Tabla 9 Composición química del residual amoniacal de la ECECG después de tratado con las tobas zeolitizadas.

mg/L	Ni	Incert	mg/L	Co	Incert	mg/L	NH3	Incert
0,223	±	0,031	L/D	±	-	13,60	±	0,37

El resultado obtenido de la interacción entre las tobas zeolitizadas y el licor residual es la captación de una fuente de nitrógeno elemento esencial para la formulación del agromineral.



Figura 17: Desarrollo del cultivo de pepino organopónico Miraflores.

Tabla 10 Resultados obtenidos en los experimentos de pepino (Céspedes Piña, 2023).

Experimentos	Primera cosecha (41) días		Segunda cosecha (55) días		Total	
	Frutos	Peso (kg)	Frutos	Peso (kg)	Frutos	Peso (kg)
Testigo	25	6	28	9	53	15
Aplicación del Agromineral	33	10	38	12	71	22

Como se puede apreciar al comparar los resultados del testigo en cultivo del suelo laterítico con el empleo del agromineral se puede notar un incremento en la cantidad de unidades de frutos y sus pesos totales en kg. Al fijarse en el total producido luego de los 41 días de cosecha se evidencian los incrementos en la cantidad de frutos aportados y el peso en kg. Por lo que queda demostrado en el cultivo y cosecha de pepino variedad Puerto Padre que las tobas zeolitizadas cargada con el residual amoniacoal mezclada con tobas vítreas aceleró la fecha

de recogida del cultivo, así como puede beneficiar la productividad y se propone como una potencial fuente de agromenas.

CONCLUSIONES

- Se sistematizaron casos de estudio concretos de la aplicación de agrominerales y mejoradores de suelos en el municipio de Moa, destacando la aplicación de formulaciones a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal y calcilutitas, así como formulaciones a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal mezcladas con tobas vítreas.
- Se estableció la existencia de una amplia variedad de materiales, geológicamente disponibles, con potencialidades para ser utilizados como agrominerales de acuerdo a sus características químicas y mineralógicas, dentro de estos están las tobas, tanto vítreas como zeolitizadas, las calcilutitas y el residual amoniacal resultante de la industria del níquel.
- Se demostró que la aplicación de formulaciones a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal y calcilutitas, logró un incremento en el rendimiento del cultivo de la habichuela y del pepino a partir del uso del agromineral y mejorador de suelo aplicado, así como la formulación a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal mezcladas con tobas vítreas reflejó viabilidad del uso de este agromineral en la agricultura.

RECOMENDACIONES

- Aplicar este tipo de investigaciones y mejorar su enfoque para buscar las potencialidades de estos materiales en el marco del desarrollo local, la agricultura sostenida y el programa de producción nacional de alimentos.
- Realizar experimentos con las tobas zeolitizadas de Caimanes teniendo en cuenta la cercanía y grado de estudio geológico, pues serían económicamente más rentables.
- Realizar estudios de pH, granulometría, materia orgánica, así como estudios dirigidos a evaluar la retención y absorción de agua, mejorar el tratamiento estadístico de los resultados, homogenizar los cultivos para que sean comparables entre sí, incluir un grupo multidisciplinario donde hayan especialistas de agronomía y explorar fuentes de financiamiento con los gobiernos locales dentro de los proyectos de innovación o proyectos CITMA, para mejorar la infraestructura.
- No dejar de valorar la aplicación integral de estos recursos, pues la mayor parte de ellos tienen aplicación también como materiales de construcción, tanto como extensores del cemento, áridos ligeros y cemento de bajo carbono.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, J. (1999). *Uso de zeolita natural en el tratamiento del licor residual carbonato amoniacal*. Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa.
- Albear, J., Boyanov, I., Brezsnyanszky, K., Cabrera, R., Chejovich, V., Echevarría, B., Flores, R., Formell, F., Franco, G., & Haydutow, I. (1988). Mapa geológico de Cuba. *Escala*, 1(250), 0.
- Almenares Reyes, R. S. (2011). *Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico*. Tesis presentada en la opción al título académico de Máster en Metalurgia.
- Almira Palacio. (2023). *Empleo de rocas carbonatadas de la localidad de Yaguaneque en suelos lateríticos, para el cultivo del pepino*.
- Banderas, D., Naranjo, V., Rodríguez, J., & Rojas, J. (1997). Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico" Sagua de Tánamo". *Prov. Holguín. Cálculo de Reservas Realizado En Nov.*
- Batista, G., Coutin, C., González, C., & Torres, Z. (2011). Valoración del potencial de las rocas y minerales industriales para el desarrollo municipal en la República de Cuba. *Instituto de Geología y Paleontología*.
- Cobiella-Reguera, J. L., Rodríguez-Pérez, J., & Campos-Dueñas, M. (1984). Posición de Cuba oriental en la geología del Caribe. *Minería y Geología*, 2(2), 65–92.
- Cruz Ramírez, Y. (2019). *Evaluación de las arcillas caoliníticas del depósito Cayo Guam para la producción de cemento de bajo carbono*.
- Fassbender, H. W., Beer, J., Heuvel, J., Imbach, A., Enriquez, G., & Bonnemann, A. (1991). Ten year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 45(1–4), 173–183.
- Folk, R. L. (1974). Petrologie of sedimentary rocks. In *Hemphill Publishing Company, Austin*.
- Fonseca, M. (2024). *Estrategia para el fortalecimiento de las capacidades de producción de alimentos para el municipio Moa*. 1–104.
- Garlobo Plutin. (2023). *Valoración de un mejorador de suelos a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal y calcilutitas, en cultivos de habichuela*.
- Garrido, M. V., Serrano, E. M., Olmos, E. A., Alonso, A., Frías, V. F., M, A. R., & Villavicencio, B. (2013). *Alternativas de empleo de las agromenas en la producción de alimentos*.
- Gyarmati, P., Méndez, I., & Lay, M. (1997). Caracterización de las rocas del arco de islas Cretácico en la Zona Estructuro-Facial Nipe-Cristal-Baracoa. *Estudios Sobre Geología de Cuba, Ciudad de La Habana, Instituto de Geología y Paleontología*, 357–364.

- Hernández-Jiménez, A. (2021). Empleo de rocas carbonatadas de la localidad de Yaguaneque en suelos lateríticos, para el cultivo del pepino. *Cultivos Tropicales*, 42(3).
- HERNÁNDEZ, L. S. (2012). *Efecto en el corto plazo de los mejoradores de suelo en indicadores de macroelementos*.
- Hernández, M. Á. B., Valencia, J. B., & Paniagua, C. F. O. (2002). Cadena de valor de bovinos de carne: alternativa de desarrollo para las regiones tropicales. *Tecnologías Sociales En La Producción Pecuaria de América Latina y El Caribe*, 139.
- Iturralde-Vinent, M. A. (1976). Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba, Oriente. *La Minería En Cuba*, 5, 9–23.
- Iturralde-Vinent, M. A. (1996). Cuba: el arco de islas volcánicas del Cretácico. *Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. IGCP Project*, 364, 179–189.
- Iturralde-Vinent, M. A. (1998). Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispánica*, 9–56.
- Leyva R. Orozco M.G. y Cuza G. (2022). LAS AGROMENAS. UNA IMPORTANTE ALTERNATIVA PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA LOCAL EN LA PROVINCIA DE HOLGUIN.
- Lores Trabajo. (2023). *Caracterización química y mineralógica de las rocas carbonatadas del sector de Yagüaneque*.
- Lozada, A. E., Lagarda, G. G., Jiménez, A. M., & Zapata, F. B. (2004). Diversidad bacteriana del suelo: métodos de estudio no dependientes del cultivo microbiano e implicaciones biotecnológicas. *Agrociencia*, 38(6), 583–592.
- Moreira Chacón, M. (2015). Evaluación de mezclas de materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica. In *revista.ismm.edu.cu*.
- Nagy, E. (1984). Ensayo de las zonas estructuro-faciales de Cuba oriental. *Contribución a La Geología de Cuba Oriental. Habana, Editorial Científico-Técnica*, 9–16.
- Orozco-Melgar, G. A., & Cuza-Fernández, G. R. (2022). Aplicación de agromineral de tobas y residual amoniaco del proceso CARON en el organopónico Miraflores del municipio Moa. *Ciencia & Futuro*, 12(4), 497–511.
- Orozco Melgar, G. A., & Cuza Fernández, G. R. (2022). Aplicación de agromineral de tobas y residual amoniaco del proceso CARON en el organopónico Miraflores del municipio Moa. *Ciencia & Futuro*, 12(4), 497–511.
http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/2220
- Proenza, J., Gervilla, F., Melgarejo, J., & Bodinier, J.-L. (1999). Al-and Cr-rich chromitites from the Mayari-Baracoa ophiolitic belt (eastern Cuba); consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94(4), 547–566.

- Proenza, J., Solé, J., & Melgarejo, J. C. (1999). Uvarovite in podiform chromitite: the Moa-Baracoa ophiolitic massif, Cuba. *Canadian Mineralogist*, 37, 679–690.
- Ríos-Martínez, Y., & Cobiella-Reguera, J. L. (1984). Estudio preliminar del Macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia Holguín. *Minería y Geología*, 2(2), 109–132.
- Soca, M., & Daza-Torres, M. C. (2016). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia*, 50(8), 965–976.
- Yalima Céspedes Piña. (2023). *Valoración de la zeolita cargada con el residual amoniacal, mezclada con tobas vítreas para su utilización como agromineral en la producción del cultivo de pepino, en el organopónico de Miraflores.*