



**ISMM**

INSTITUTO SUPERIOR MINERO

METALÚRGICO DE MOA

**Ingeniería Geológica**  
**Facultad: Geología y Minería**

# **Trabajo de Diploma**

Para Optar por el Título de

## **Ingeniero Geólogo**

*Título: Sectores con potencialidades como  
posibles fuentes de magnesio en la provincia de  
Holguín, Cuba.*

**Autor: Miguel A Goris Leonartd**

**Tutor(es): Ms C. Yurisley Valdés Mariño**

**Ms C. Rolando Batista Gonzales**

**Moa, 2016**

**“Año 58 de la Revolución”**

## **Pensamiento**

**Si quieres ser contundente sé breve en tus palabras. Los rayos solares, cuando más se condensan, más penetran.**

**Robert Southey.**

**Si tu intención es describir la verdad, hazlo con sencillez y la elegancia déjasela al sastre.**

**A. Einstein**

## **Agradecimiento**

Agradezco primero que todo a mis padres Miguel A Goris Escobar y Marilín Leonard Gracial desde lo más profundo de mi corazón por haberme apoyado y comprendido en mis buenos y malos momentos durante estos cinco años de estudio en Moa, para mi ustedes son lo más preciado que tengo.

A mi familia en general y en especial a mis hermanas Dailin y Marita, a mis sobrinos que aunque estén pequeños los quiero mucho, a Teresa que aunque nos conocemos hace muy poco ha logrado crear en mí un sentimiento muy grande hacia ella.

A mi tutor Ms C. Yurislely Valdés Mariño que aunque se encuentre ocupado todo el tiempo siempre tiene un momento para dedicármelo y apoyarme en lo que haga falta en la realización de este trabajo, al Ms C. Iván Barea y el Dr C .Carlos Leyva, a los compañeros del IGP el Dr C.Waldo Damián Lavaut Copa, Ms C. Rolando Batista Gonzales, por brindarme las informaciones necesarias y el apoyo en las salidas al campo.

A Yudenia Montes Borrote la le debo muchas cosas de las que hoy he podido lograr como persona y en la vida, a su Madre, hermana y familiares.

A todos mis compañeros de aula y en especial a Orlando, David, Eduardo, Sergio, Diosbanis, Gabriel, a mis compañeros de cuarto y de la universidad.

A esas personas que saben que las quiero mucho pero que en estos momentos no se encuentran o no se los puedo decir quiero que sepan que los tengo presente por el apoyo que me brindaron en su momento.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a todos los profesores que hicieron posible mi formación como estudiante y profesional.

A mis amigos del Barrio que me apoyaron en mis estudios (Yaciel, Yordanis, Esniel, Torre Blanca).

A todos mis familiares sin que se me quede ninguno tanto por parte de madre como de padre.

A Teresa pues a pesar de que fue la última en llegar a mi vida universitaria se ha ganado un lugar especial en mi corazón.

A todos aquellos que dudaron de mí y me abandonaron en los momentos que para ellos eran los más difíciles de mi vida a esos le dedico mi trabajo pues me hicieron ser más fuerte.

A esta Revolución por la oportunidad de superación que le brinda a estos jóvenes cubanos.

Y en especial quiero dedicar este trabajo a la persona que en realidad más se lo merece, que nunca me abandonara y por la cual sería capaz de meter la mano en el fuego, jurar y más aún: Miguel A Goris Leonard creo que él es merecedor de este gran triunfo en la vida porque fue el que más sufrió en toda la carrera, se esforzó para la realización de este trabajo y es el que estoy seguro que se encuentra más feliz con lo logrado.

## Resumen

El presente trabajo investigativo titulado: Estudio del potencial de magnesio en las rocas ultrabásicas de Holguín; presenta la necesidad de estudiar el potencial de magnesio en las rocas ultrabásicas de Holguín. Se realizó un estudio del potencial de magnesio en estas rocas para definir las áreas con mayores perspectivas para la explotación de este recurso. Basándose en la confección de mapas de iso\_contenidos de Mg, perfiles de los horizontes de la corteza en pozos individuales y gráficos de variación de concentración de elementos en profundidad. Lo que permitió conocer cuáles son los sectores de la provincia de Holguín con mayores perspectivas para la explotación de este recurso y cuáles son las características de las rocas que se encuentran en ellos, estos resultados pueden ser empleados para continuar profundizando en la búsqueda de este elemento y de cierta forma reducir la búsqueda a solo las zonas donde se encuentren este tipo litológico de rocas.

## **Abstract**

The present investigating work title: Study of the magnesium potential of the ultra-basic rocks in Holguín's; present the need to go into the magnesium potential of the ultra-basic rocks. It was done a study of the magnesium potential in these rocks to define the areas with bigger perspectives for the exploitation of this resource. Being based on the confection of maps of iso contained of Mg, profiles of the horizons of the bark in individual wells and graphics of variation of concentration of elements in depth. What allowed to know which ones the sectors of Holguín's province with bigger perspectives for the exploitation of this resource and which ones are the characteristics of the rocks that they find in them, these results can be used to continue deepening in the search of this element and in a certain way reducing the quest to zones where they find only this lithology rocks type.

## ÍNDICE

Introducción.....	1
Estado del Arte .....	3
Trabajos precedentes relacionados con la geología regional.....	3
Trabajos relacionados con la geología de los yacimientos lateríticos.....	6
Comportamiento del magnesio en la corteza de intemperismo. ....	8
Trabajos relacionados con el potencial de magnesio en el mundo y en Cuba.....	9
Marco teórico conceptual.....	14
Principios teóricos .....	15
CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO. ....	22
1.1 Introducción. ....	22
1.2 Características físico-geográficas regionales. ....	22
1.2.1 Ubicación geográfica.....	22
1.2.3 Particularidades climáticas de la región.....	23
1.2.4 Vegetación regional.....	26
1.3 Características geológicas regionales. ....	27
1.3.1 Estratigrafía.....	29
1.3.2 Características hidrográficas e hidrogeológicas regionales .....	32
1.3.3 Tectónica Regional.....	34
1.3.4 Composición de la MTZ en el macizo Mayarí -Moa-Baracoa. ....	35
1.3.5 Condiciones geoambientales regionales. ....	36
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	39
Introducción.....	39

2.1 Búsqueda bibliográfica. ....	41
2.2 Procesamiento de la información.....	41
2.3 Interpretación de los resultados. ....	50
<b>CAPÍTULO 3: ESTUDIO DEL POTENCIAL DE MAGNESIO EN ROCAS ULTRABÁSICAS DE HOLGUÍN.....</b>	<b>51</b>
Introducción.....	51
3.1 Mineralogía del olivino. ....	51
3.2 Descripción de los sectores escogidos.....	52
3.3 Caracterización macroscópica de las muestras de dunitas serpentinizadas del Sector Sur de Moa.....	55
3.4 Petrografía de las muestras de dunitas del sector Sur de Moa. ....	56
3.5 Interpretación de los análisis de fluorescencia de rayos-X.....	61
3.6 Consideraciones del quimismo de las rocas en base a los óxidos principales: .....	62
3.7 Comparación entre los sectores analizados. ....	62
3.8 Interpretación del perfil en profundidad de la variación de la concentración de magnesio (MgO) y Sílice SiO <sub>2</sub> (Ver figura .26). ....	64
Conclusiones: .....	66
Recomendaciones: .....	67
Bibliografía: .....	68
Anexos .....	72

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día una de las tendencias mundiales es la búsqueda de magnesio (Mg) por su perspectiva para las industria (automovilística, construcción, pinturas, aleaciones con nano partículas, industria de la cerámica, revestimientos, electrodos, cauchos, productos químicos, pegamentos, frenos, alimentos concentrados para animales y otras); además es el metal estructural más liviano que existe, es refractario, por lo que se hace necesario conocer cuáles son sus fuentes de obtención o las rocas que lo portan.

Los silicatos de magnesio son una fuente indiscutible del mismo, para la extracción de este a partir de silicatos de magnesio existen diversos procesos basados en la digestión ácida. Muchos de ellos requieren de condiciones complejas para evitar la formación de geles de sílice y ácido silícico coloidal, compuestos que ralentizan la filtración y retienen considerables cantidades de sales indeseadas solubles en el ácido. Este es uno de los problemas que presentan las industrias a la hora de intentar extraer el magnesio de estas rocas ultrabásicas.

En nuestro país se conoce la existencia de fuentes de magnesio (dolomitas, magnesita, salinas y rocas ultrabásicas) estas últimas con contenidos altos de óxidos de magnesio por lo que se está potenciando el estudio de estas rocas con este fin.

La provincia de Holguín es muy reconocida por su actividad minera principalmente por la del Níquel, pero las rocas que dan origen a las cortezas de meteorización del macizo (Mayarí -Moa-Baracoa) además de ser fuentes de níquel poseen altos contenidos de óxido de magnesio.

Dentro de la corteza ferroniquelífera, junto a los minerales portadores de níquel se encuentran elementos nocivos que dificultan el proceso de extracción y complejizan el proceso metalúrgico. La presencia de estos está relacionada tanto con la composición o con el tipo de roca a partir de las cuales se forman estas

cortezas, un ejemplo es el magnesio que se encuentra en las dunitas y harzburgitas que constituye un elemento nocivo para el proceso de extracción de níquel en las industrias de Moa.

Como producto de los nuevos planes de desarrollo en el país, el estado cubano se vio en la necesidad de encontrar nuevos yacimientos y aumentar la gama de investigaciones hacia otros elementos o minerales útiles. Se investigaron las rocas del complejo ofiolítico con el objetivo de estudiarlas como fuentes de magnesio. El estudio de este elemento se encuentra avalado con la investigación del servicio geológico titulado: “Evaluación del potencial de las menas de magnesio en Cuba”, pero el estudio de estas rocas no ha sido suficiente siendo el problema de esta investigación:

#### **PROBLEMA**

Necesidad de definir los sectores con potencialidades como posibles fuentes de magnesio en la provincia de Holguín, Cuba.

#### **OBJETO DE ESTUDIO**

Las rocas de los sectores con potencialidades como posibles fuentes de magnesio en la provincia de Holguín, Cuba.

#### **CAMPO DE ACCIÓN**

Contenido de magnesio en las rocas con potencialidades como posibles fuentes de magnesio en la provincia de Holguín, Cuba.

#### **OBJETIVO GENERAL**

Definir los sectores con potencialidades como posibles fuentes de magnesio en la provincia de Holguín, Cuba.

## **HIPÓTESIS**

Si se logra definir los sectores con potencialidades como posibles fuentes de magnesio en la provincia de Holguín, Cuba; entonces se podrá delimitar las áreas con mayores perspectivas para la explotación de este recurso.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Confeccionar los mapas de iso\_contenidos de Mg y el perfil en profundidad de la variación de la concentración de magnesio (MgO) y Sílice SiO<sub>2</sub>.
2. Caracterizar macroscópica y petrográficamente las rocas de los sectores más prospectivos.

## **Estado del Arte**

### **Trabajos precedentes relacionados con la geología regional**

Los primeros estudios geológicos sobre las rocas en Cuba datan desde principios de siglo XX cuando los geólogos comenzaron a interesarse por las rocas de composición ultramáficas presentes en la región de Moa. Ya en el año 1918, investigadores tales como Burchy Burchard realizaron trabajos de carácter evaluativo para el pronóstico de los yacimientos minerales de la antigua provincia de Oriente, entre ellos se pueden citar, las menas lateríticas, cromitas y minerales de manganeso (Burch, A. y Burchard, E. F. 1919).

En 1962 se destaca el trabajo realizado por los geólogos húngaros Adamovich y Chejovich, que consistió en un levantamiento geológico regional a escala 1:50 000 del nordeste de Cuba oriental. Las investigaciones fueron ejecutadas con un bajo número de perforaciones de mapeo; no obstante, sirvió de documento geológico primario para futuros proyectos y campañas de prospección. Los trabajos de prospección acompañantes permitieron ofrecer un pronóstico de los recursos minerales de las lateritas (Adamovich, A. Chejovich, V, 1962).

En 1972 comienzan las investigaciones de carácter regional en el territorio oriental cubano por especialistas del Departamento de Geología de la Universidad de

Oriente, luego el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, estableció en 1976 que la tectónica de sobre empuje afecta a las secuencias sedimentarias fuertemente dislocadas, detectándose en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del Cretácico Superior sobreyaciendo las secuencias terrígenas del Maestrichtiano-Paleoceno Superior, planteando el carácter alóctono de los conglomerados-brechas de la formación la Picota, demostrándose en investigaciones posteriores (Cobiella, J. 1978) el carácter predominantemente autóctono de estas secuencias formadas en las secuencias superpuestas del arco volcánico del cretácico. Con estos nuevos elementos se reinterpreta la geología del territorio y se esclarecen aspectos de vital importancia para la acertada valoración de las reservas minerales.

Entre los años 1973 y 1976, se realizaron los trabajos de exploración orientativa y el cálculo de reservas en los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Sur en los cuales se recoge una detallada información geológica, que incluye, la geología, tectónica y petrología del yacimiento (Stinikov, 1976). Es importante destacar en este periodo el trabajo de levantamiento geológico a escala 1: 250 000 realizado en la antigua provincia de Oriente por la Brigada Cubano - Húngara de la Academia de Ciencias de Cuba, siendo el primer trabajo que generaliza la geología de Cuba Oriental. En este trabajo la región oriental se divide en cinco unidades estructuro faciales (Nagy, 1976) y tres cuencas superpuestas como se muestra en la (Ver figura 1).

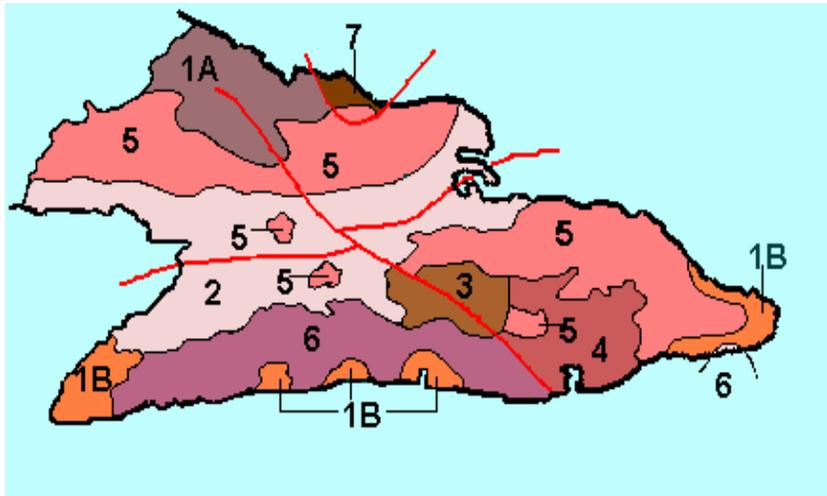


Figura 1. Esquema tectónico según (E. Nagy, 1976) 1A- Margen Norte; 1B- Margen Sur; 2- Cuenca Guacanayabo -Guantánamo; 3- Sinclinorium Central; 4- Cuenca de Guantánamo; 5-Zonas precubanas; 6- Zona Caimán y 7- Zona Remedios.

Al mismo tiempo se desarrollan trabajos fotogeológicos sobre diferentes áreas del territorio por especialistas del Centro de Investigaciones Geológicas, entre los que se encuentran la caracterización de la corteza de intemperismo del sector occidental de las hojas cartográficas de Moa y Palenque (Pérez, 1976), se realiza una clasificación de las fracturas que afectan al substrato serpentinitico y el levantamiento fotogeológico de Farallones a escala 1: 50000, por donde se realizó un estudio detallado de las distintas formaciones geológicas del área.

De igual forma se realizaron reconstrucciones paleogeográficas que le permitieron caracterizar el relieve pre-Maestrichtiano de la región y clasificaron el relieve actual. Se mantuvo la opinión de que las ultramafitas son intrusiones magmáticas emplazadas en estado cristalino; reconocen por primera vez la yacencia estratiforme de las ultramafitas, las que definen como un macizo con forma de lente. Además, consideraron que la serpentización de las ultramafitas se debía a los procesos de autometamorfismo.

La zona de los cumulos máficos está compuesta por gabros, gabronoritas, troctolitas y anortositas, relacionados por una transición gradual; en los puntos

donde los contactos son tectónicos, los gabroides están cataclastizados y milonitizados y las serpentinitas son esquistosas (Heredia y Terepin, 1984).

En el período 1980-1985 el Departamento de Geomorfología de la Empresa Geológica de Oriente en la búsqueda y categorización de las reservas lateríticas, en colaboración con la Facultad de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa desarrolló el tema de investigación “Análisis estructural del Macizo Mayarí –Baracoa” donde se realizó por primera vez de forma integral para todo el nordeste de Holguín, el grado más o menos perspectivo para la prospección de cortezas de intemperismo ferro-niquelíferas en dependencia de las condiciones geólogo geomorfológicas (Dublan, L. et al. 1985).

En 1989 (Quintas F, 1989) se realizó el estudio estratigráfico de Cuba Oriental donde propone las Asociaciones Estructuro Formacionales (AEF) que constituyen el territorio así como las formaciones que lo integran, realizando la reconstrucción del Cretácico al Paleógeno, intervalo cronológico de mayor complejidad para la geología de la región oriental. En 1990 se concluye el levantamiento geológico a escala 1:50 000 en el polígono CAME Guantánamo por especialistas cubanos y húngaros, el cual constituye uno de los trabajos más integrales que sobre la geología de la región se hayan realizado, al abordar todas las vertientes del trabajo geológico con un gran volumen de información textual y gráfica (Tomado de Valdés Y. 2015).

### **Trabajos relacionados con la geología de los yacimientos lateríticos**

Las rocas ultrabásicas que son en las que centra esta investigación forman cortezas lateríticas por tanto es importante conocer cuál es la geología de los yacimientos que se forman a partir de estas cortezas.

Los yacimientos minerales de menas residuales de níquel desarrollados sobre litologías ultramáficas y máficas del complejo ofiolítico, constituyen las principales reservas de menas de hierro, níquel y cobalto. Las menas de níquel cubanas se

conocen prácticamente desde el mismo tiempo del descubrimiento de la isla en 1492 (Muñoz J.N ,2004).

Para el estudio de las menas lateríticas residuales es necesario analizar las condiciones geológicas de formación de estos yacimientos, además los factores climáticos, estructurales, hidrogeológicos y geomorfológicos que originaron las potentes cortezas de intemperismo de perfil laterítico. Se pueden establecer cuatro horizontes que se diferencian en la composición mineralógica y química entre otros parámetros que se presentan en las condiciones exógenas del planeta como lo son:

- Clima
- Geotectónica
- Geomorfología
- Hidrografía (Muñoz, 2004)

Dada su génesis los yacimientos de cortezas ferro-niquelíferas existentes en el nordeste de Cuba oriental son de tipo hipergénico, a partir del desarrollo y transformación de las litologías utramáficas piroxénicas serpentinizadas en cortezas de intemperismo de Fe, Ni y Co, así como las litologías del complejo oceánico y las litologías que integran la zona de transición Manto -Corteza. (Formell, F., 1980).

En los últimos años las investigaciones mineralógicas se realizan fundamentalmente, para esclarecer e identificar los principales minerales portadores de los componentes útiles: hierro, níquel y cobalto. (Rojas Purón, L.A. et. al., 1994); (Almaguer, A, 1995); (Muñoz J. N. 2004).

Según investigaciones realizadas por Sitnikov, V., et al., (1976), se identificaron y diferenciaron los principales tipos litológicos que conforman el basamento sobre el cual se desarrolló y acumuló la corteza ferroniquelífera para el área de la concesión minera Camarioca Sur. Dentro de esas litologías se destacan las

peridotitas y las serpentinitas, con menor abundancia aparecen diferentes variedades de gabros y diseminaciones de cromitas.

En el área de las concesiones mineras aparece en el basamento un tipo litológico, que en el trabajo de Sitnikov, V., et al., (1976), fueron declaradas como rocas recrystalizadas de composición considerablemente antigorítica, con mayor representatividad en Camarioca Sur y aisladamente en Camarioca Norte. Estas rocas adquieren gran importancia en el estudio del comportamiento de los yacimientos, ya que se pudo observar que en el área donde ellas se encuentran las cortezas se caracterizan por su pobre desarrollo y los bajos contenidos de níquel. Figura 2

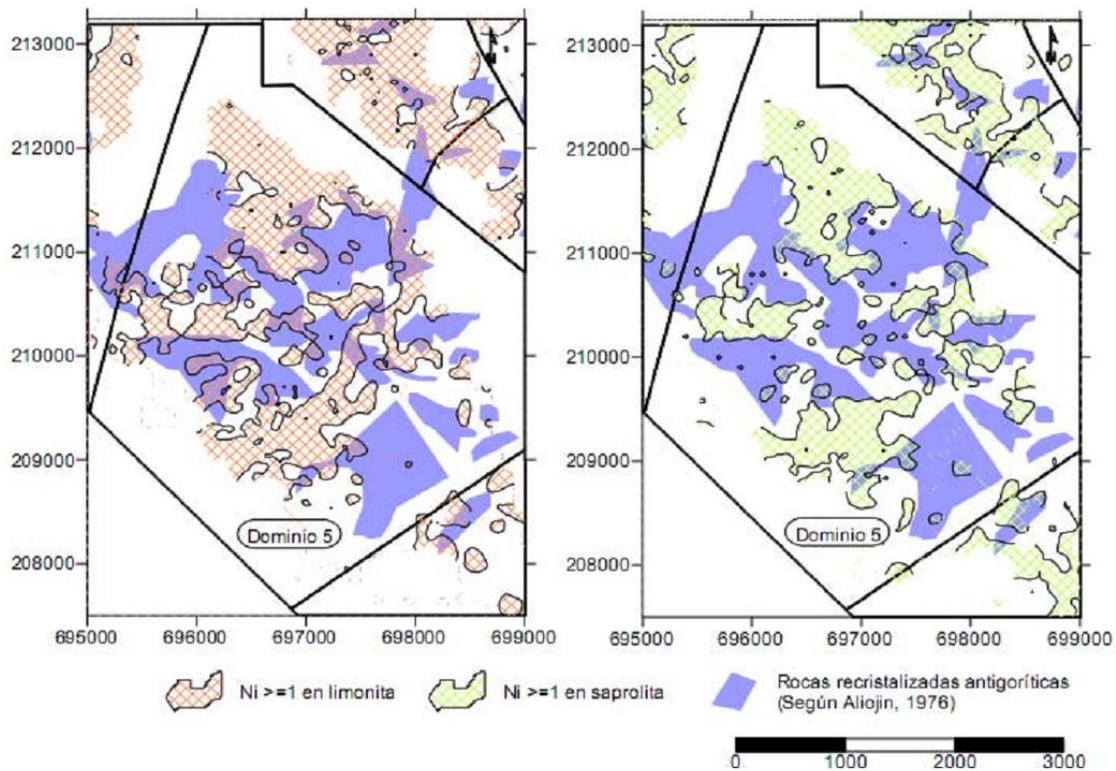


Figura 2. Relación entre las rocas cristalizadas antigoríticas con los contenidos de níquel en limonita y saprolita. (Muñoz et al, 2007).

### Comportamiento del magnesio en la corteza de intemperismo.

El comportamiento del óxido de magnesio (MgO) presenta una marcada disminución hacia la parte alta del perfil (ocre inestructural con perdigones de

hierro) aumentado hacia la parte inferior de este (Roca Madre Agrietada) coincidiendo con el comportamiento del  $\text{SiO}_2$ , para estos elementos el cambio más importante se observa a partir del ocre estructural final.

### **Trabajos relacionados con el potencial de magnesio en el mundo y en Cuba.**

El magnesio presenta diversas utilidades de importancia industrial para Cuba o para el mundo y como es el objetivo de esta investigación buscar su potencial entonces hay que conocer alguna de las investigaciones que se desarrollaron relacionadas con esta temática:

Obtención de concentrados de óxido de magnesio, a partir de magnesita: El presente trabajo trata sobre la obtención de concentrados de óxido de magnesio a partir de magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), por medio de métodos de beneficio mineral con la finalidad de producirlo para el consumo nacional. (Pazanin, 2002).

Disolución del magnesio de las menas de Magnesita Redención con ácido carbónico: se determina las principales regularidades físico-químicas en la disolución del magnesio durante el proceso de lixiviación con ácido carbónico de las menas del yacimiento "Magnesita Redención" para la obtención con alta eficiencia de carbonato básico de magnesio (CBMg) de alta calidad. (Hernández, 2015).

Procedimiento de obtención de óxido e hidróxido de magnesio de alta pureza a partir de dunitas y otros subproductos metálicos valiosos a partir de estas últimas. (Díaz, 2014) (Ver anexo 1).

Baterías de Magnesio desarrolladas para la industria de automóviles eléctricos: en su estudio se demostró la posibilidad de sustituir los iones de litio, donde cada uno lleva una sola carga positiva, por iones de magnesio, que contiene una segunda carga positiva, utilizando la misma estructura de electrodos que se usa actualmente en las baterías. El magnesio es un ión con dos cargas positivas en su estructura química por lo que logra mover el doble de electrones. (Munhoz, Santo; s/a).

Cementos magnesianos de fraguado acelerado y su procedimiento de preparación: Este cemento magnésiano comprende una sal de magnesio, a las cuales se les añade agua de fraguado, y se caracteriza porque la sal de magnesio está parcialmente hidratada preferentemente con un porcentaje de hidratación medio. (Roux, Patrice, Ungria ,1989).

Minerales utilizados en agricultura: el magnesio es un importante constituyente de la molécula de clorofila. Normalmente los fertilizantes con Mg se clasifican según el grado de solubilidad, siendo los más solubles los sulfatos hidratados como la epsomita  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ . Hay un grupo de minerales entre los que están la dolomita, brucita, magnesita y periclasa, que tardan de 2 a 4 años en alcanzar un grado de solubilidad alto. Por último, la serpentina y el olivino se emplean en ocasiones, aunque son sólo muy ligeramente solubles. (Rodas, Fernández; s/a)

Liga química magnesio-fosfato, desarrollo y aplicación en cementos y hormigones refractarios: los materiales con alto contenido de cordierita ( $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ ) constituyen una clase de cerámicos técnicamente importantes y extensamente usados en aplicaciones de alta temperatura por sus buenas propiedades termomecánicas y excelente resistencia al choque térmico, lo que los hace resistentes a los cambios bruscos de temperatura y/o a numerosos ciclos de calentamiento-enfriamiento ( Hipedinger ,2007).

Propuesta de fabricación en Cuba de materiales de construcción no tradicionales con énfasis en la producción de cementos especiales: llamados también Sorel, se obtienen al reaccionar la magnesia calcinada u óxido magnésico,  $MgO$ , con una disolución de cloruro magnésico,  $MgCl_2$ , de lo que se forma el oxiclورو de magnesio, de fórmula  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$ , con desprendimiento de calor (Lavandero; González, 2011).

Nuevas aleaciones de magnesio para los automóviles del futuro: las aleaciones de magnesio representan una alternativa a los actuales metales estructurales, postulándose como las aleaciones más atractivas para la industria del automóvil,

ya que debido a su baja densidad y su elevada resistencia podrían contribuir a la reducción del peso de los vehículos del futuro (Pérez, C. F. y et. al, 2000).

Análisis de nuevos conglomerantes para su utilización en infraestructuras civiles: los conglomerantes basados en mezclas de óxido de magnesio (MgO) y cloruro de magnesio (MgCl<sub>2</sub>) se han utilizado desde 1867 con el conocido nombre de “cemento Sorel” en honor a su inventor (Sorel, 1867). Por tanto, el cemento Sorel se basa en el oxiclорuro de magnesio a partir del cual se forman cloruros o sulfatos de magnesio hidratados (Argis y et.al, 2012).

Estudio de nuevas formulaciones de cemento Sorel: el cemento Sorel es un hormigón de oxiclорuro de magnesio o cemento magnesiano, y su aplicación como pavimento continuo sin juntas ha alcanzado un notable desarrollo en Alemania y Austria (Rosell. 2007).

Tableros de óxidos de magnesio y su utilización en la construcción: el óxido de magnesio es un material versátil que se utiliza en la construcción de edificios residenciales y comerciales.

El tablero del óxido de magnesio tiene varias características atractivas:

1. La resistencia al fuego.
2. Resistencia a la humedad y la resistencia al moho.
3. La fuerza derivada de la fuerte vinculación entre el magnesio y el oxígeno. (Cohen, 2015).

Refractarios de magnesia-grafito: la estabilidad de los refractarios de magnesia-grafito durante el uso viene determinada tanto por la agresión de factores externos como por la reducción carbotermal del magnesio en el interior del material. Se examinan los mecanismos de degradación de estos materiales y la influencia que ejercen sobre ellos las características de las materias primas (Álvarez y Baudin; 1992).

Perspectivas de Cuba en la producción de materiales refractarios básicos: Se destaca la existencia en nuestro país de perspectivas muy alentadoras para el

desarrollo de la industria de productos refractarios no tradicionales, entre los que ocupan un lugar especial los refractarios básicos y dentro de estos, los que se producen a partir de dunitas (olivino), serpentinitas, magnesita y cromita (Pons; et. al; 2011).

Perspectivas de utilización como refractarios de las ultrabasitas asociadas a la mineralización cromífera de la provincia Camagüey: tiene como objetivo caracterizar las litologías constituyentes del material estéril y de rechazo producto de la explotación de los yacimientos cromíticos asociados al complejo ofiolítico en la provincia de Camagüey, con vistas a conocer sus perspectivas reales de utilización, especialmente como materia prima refractaria, logrando un aprovechamiento racional de estos recursos (Leyva, La Rosa; 2006).

Procedimiento para mejorar la capacidad de soldadura de aleaciones de magnesio: la invención concierne a un procedimiento para soldar piezas de trabajo de aleaciones de magnesio. En la construcción de vehículos se utilizan, cada vez más, materiales ligeros tales como, por ejemplo, aluminio y magnesio. Un extenso empleo de estos materiales es posible solamente cuando está disponible una técnica de soldadura adecuada, tal como ocurre con el aluminio. Las piezas de trabajo de magnesio se atornillan y pegan en la actualidad, ya que la producción de uniones de soldadura seguras en la producción en serie no forma todavía parte del estado de la técnica (Danzer, Wolfgang, 2004).

Estado del arte de las aleaciones ligeras y sus aplicaciones: El magnesio como materia prima es otro elemento que está empezando a utilizarse a nivel industrial. El mayor productor de magnesio primario del 2006 fue China con 526000 toneladas, seguido de Canadá, Rusia y US (Amigó, 2007).

Cloruro de magnesio: produce equilibrio mineral, como en la artrosis por descalcificación, reanima los órganos en sus funciones, como a los riñones para que eliminen el ácido úrico, regula la actividad neuromuscular y participa en la transmisión de los impulsos nerviosos. Es un gran energizante psicofísico y equilibra el mecanismo de contracción y relajación muscular, previniendo la fatiga

o cansancio muscular, evitando calambres y fortaleciendo los músculos, lo que es imprescindible en cualquier deportista. Es necesario para el correcto funcionamiento del corazón pues desempeña un importante papel en el proceso de múltiples procesos biológicos. Mejorando la nutrición y la obtención de energía, combate la depresión, los mareos y es un poderoso agente antiestrés. Cumple una función primordial en la regulación de la temperatura del cuerpo. Benéfico para evitar niveles altos de colesterol. Regulador intestinal (Chorr; 2010).

## Marco teórico conceptual

### Simbología

**Tabla .1** Simbologías utilizadas en la investigación.

<b>Simbologías</b>	<b>Nombre</b>
N	Norte
E	Este
S	Sur
W	Oeste
M	Metro
Km	Kilómetro
S	Segundo
Mg	Magnesio
km/h	Kilometro por Hora
aw	sabana tropical
am	monzónico
cwb	estación seca

## **Principios teóricos**

En el territorio de Cuba Oriental, los macizos de Sierra de Nipe-Cristal y Moa-Baracoa constituyen la mayor parte del segmento oriental del cinturón ofiolítico cubano, siendo considerados porciones alóctonas de corteza oceánica con una extensión de 170 km, un ancho de 10-12 km, aproximadamente 1 000 m de espesor promedio y con una superficie total de 2 700 km<sup>2</sup> (Tomado de Valdés Y. 2015). Los yacimientos minerales de menas residuales de níquel desarrolladas sobre litologías ultramáficas y máficas del complejo ofiolítico, constituyen las principales reservas de menas de hierro, níquel y cobalto en Cuba. Las menas lateríticas residuales se formaron durante el proceso de laterización de las ultramafitas serpentinizadas, como consecuencia de la combinación de factores climáticos, litológicos, estructurales, geomorfológicos; los que originaron potentes cortezas de intemperismo, las cuales poseen horizontes o capas, que difieren entre sí desde el punto de vista químico y mineralógico, entre otros parámetros.

**Mena:** Rocas y minerales de los cuales, podemos extraer componentes útiles, bien sea metales (oro, plata) o materias primas no metálicas (calizas, azufre) de forma tal que su extracción y beneficio resulten económicamente rentables a las empresas mineras.

**Mineral:** es un sólido homogéneo por naturaleza con una composición química definida, pero generalmente no fija y una disposición atómica ordenada; normalmente se forma por un proceso inorgánico.

**Región:** se caracteriza por una serie de yacimientos de composición y origen determinados, asociados a un elemento o grupo de elementos tectónicos de primer orden, que determinan la estructura geológica del territorio de la provincia (anticlinorios y sinclinorios, zonas internas y periféricas geosinclinales, macizos centrales, pliegues sinclinales superpuestos, zonas de activación, depresiones marginales, escudos, sinclisas, etc.) (Smirnov, 1982).

## **Mineralización:**

Aquellas acumulaciones de minerales o rocas, que por algún motivo no pueden declararse menas de determinada materia prima mineral. Se dan casos en que los contenidos útiles de los elementos, tienen valores por encima del contenido mínimo industrial y presentan impurezas beneficiosas, pero fallan las reservas, que permitirían su explotación racional y rentable a la economía.

## **Corteza de intemperismo**

Es una formación geológica continental independiente, generada bajo la acción de la energía de los agentes atmosféricos, líquidos, gaseosos y biogénicos sobre las rocas primarias (Smirnov, 1982).

### **Tipo de Corteza de intemperismo**

- Cortezas ferroniquelíferas (lateritas).
- Cortezas caoliníticas (arcillosas o arcillas).
- Cortezas Bauxíticas(bauxitas).

## **Lateritas**

Later, ladrillo en latín, suelo rojo residual que se desarrolla en regiones tropicales y subtropicales con buen drenaje. La sílice y el magnesio se lixivian, conteniendo concentraciones importantes de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, además de manganeso, níquel, cromo y cobalto. Fue estudiado inicialmente por (Tomado de Pérez Y. 2013) con rocas basálticas alteradas de la India. Es el producto residual de la descomposición de las rocas silicatadas-ferromagnesiales, principalmente.

## **Proceso de Laterización**

Una de las fases fundamentales del escenario geomorfológico en la superficie de la Tierra es la destrucción y descomposición de las rocas por los procesos del intemperismo. El 14 % de la superficie terrestre experimenta el intemperismo físico o mecánico y el 86 % está afectada por los procesos químicos (Tomado de Pérez Y. 2013). El intemperismo implica una fuerte dependencia de los procesos asociados con la hidrosfera, atmósfera y biosfera (Tomado de Pérez Y. 2013), ya

que la cristalización y disolución de los minerales a partir de las soluciones acuosas son los procesos principales en la cinética de este fenómeno.

La existencia de las lateritas fue reconocida por vez primera por Buchanan en 1907. Un siglo después Harrassowitz, en 1926, realizó una descripción general de las lateritas y muchas de sus observaciones y sugerencias aún poseen un considerable valor (Pedro, 1968; Lima Costa, 1997 citado por Robert, 2012).

Las condiciones relevantes para que ocurra la lateritización son las siguientes: (Tomado de Pérez Y, 2013)

1. Presencia de minerales formadores de las rocas fácilmente solubles y movilizables que dejen residuos ricos en alúmina y hierro.
2. Permeabilidad y porosidad efectiva que favorezcan el fácil acceso, así como la circulación del agua y las soluciones. La libre circulación asegura la movilidad de la materia disuelta, lo cual no favorece el establecimiento de condiciones de equilibrio en soluciones saturadas.
3. Precipitaciones normales a abundantes con un régimen estacional o, al menos, con interrupción entre ellas.
4. Abundante vegetación y otros componentes bióticos, incluyendo las bacterias; los ácidos orgánicos, en particular, actúan como agentes efectivos de solución y precipitación.
5. Temperaturas tropicales o calientes que aceleren la velocidad de las reacciones químicas y promuevan los procesos de formación de arcillas.
6. Relieve topográfico bajo o moderado que permita el movimiento libre del nivel del agua subterránea y minimice los procesos de remoción.
7. Un largo período de estabilidad de las estructuras geológicas.

El grado de alcance del intemperismo tiene su expresión en dos conceptos:

1. Profundidad en el sentido espacial, esto es, el espesor o potencia de la corteza de intemperismo;
2. Intensidad o grado de intemperismo como expresión del cambio en la roca original afectada por las reacciones químicas.

**Los principales factores que determinan la profundidad del intemperismo según (Thomas, 1974) son:**

**1. Factores Climáticos.**

- **Temperatura:** el aumento de estas incrementa la velocidad de las reacciones endotérmicas.
- **Precipitación:** el agua constituye el agente principal del proceso de intemperismo.

**2. Factores Biológicos**

- **Cubierta vegetal:** una cubierta densa protege a la superficie de los procesos de lavado y proporciona los ácidos orgánicos que son capaces de alterar ciertos minerales de las rocas movilizando especialmente el Fe por quelación. Por el contrario, la vegetación de sabana abierta favorece la inmovilización del Fe y propicia el escurrimiento superficial.

**3. Factores Geomorfológicos.**

- **Estabilidad de la superficie del terreno:** la penetración del intemperismo se favorece con la baja denudación donde prevalecen las pendientes suaves.
- **Presencia de paleosuperficies:** la estabilidad prolongada de la antigua superficie permite que se desarrollan perfiles profundos.

**4. Factores Locales.**

- **Drenaje Libre:** los lugares hipsométricamente elevados posibilitan el movimiento hacia abajo y la renovación frecuente del agua subterránea, que es especial para la rápida descomposición de las rocas.
- **Las zonas de captación\_recepcion:** la combinación del incremento de la cantidad de agua en las zonas de convergencia del escurrimiento con un pobre drenaje provoca la formación de corteza laterítica muy poco profundas.

## 5. Factores Geológicos

- **Tipo de roca:** la presencia de minerales particularmente susceptibles a la alteración, incrementa la velocidad de penetración del intemperismo y puede provocar la desintegración temprana de la roca.
- **Textura de la roca:** Las rocas cristalinas de texturas gruesas se desintegra más rápido que las de texturas finas. La textura en las rocas sedimentarias afecta la permeabilidad y la velocidad de penetración del intemperismo.
- **Fisibilidad de la roca:** las fallas grietas y bordes de granos fracturados facilita la penetración del intemperismo especialmente en las rocas cristalinas.
- **Alteración hidrotermal:** las rocas que han sido sometidas previamente a las distintas formas de actividad hidrotermal pueden ser más susceptibles al intemperismo.

## 6. Factores cronológicos

- **Cambios climáticos:** las variaciones de vegetación y clima alteran con el tiempo el balance de intemperismo y erosión. Las condiciones pluviales en las zonas áridas durante el Terciario y el Pleistoceno han conducido a la presencia de un intemperismo relíctico profundo.
- **Cambios tectónicos:** las variaciones de la estabilidad cortical afectan la estabilidad de la superficie del terreno y el tiempo disponible para la penetración del intemperismo.

La medida de la intensidad del intemperismo puede obtenerse por la relación de alúmina en el material intemperizado con respecto al de la roca fresca. También existe una relación entre la suma de los óxidos de Na y K / sílice del horizonte intemperizado con respecto al del material original, que se denomina factor de lixiviación (Tomado de Pérez Y. 2013).

Según (Pérez Y, 2013) los principales procesos biológicos que incrementan el intemperismo de los minerales son:

- a) El crecimiento de las raíces y la acción de los hongos producen la desintegración física de los minerales, exponiendo nuevas superficies frescas a la acción de los agentes del intemperismo.

- b) La estabilización del suelo incrementa la retención del agua, lo que favorece la ocurrencia de las reacciones del intemperismo.
- c) La producción de ácidos, en primer término el ácido carbónico a partir del CO<sub>2</sub>, así como también otros ácidos orgánicos e inorgánicos, acelera la velocidad del intemperismo.
- d) Los ligandos orgánicos atacan directamente la superficie de los minerales o forman complejos con iones en solución, cambiando el estado de saturación.
- e) Los polímeros extracelulares complejos moderan el potencial de agua, mantienen los canales de difusión, actúan como ligandos o quelatos y sirven como puntos de nucleamiento para la formación de minerales autógenos.
- f) La absorción, primeramente de K, Fe y P, disminuye el estado de saturación de la solución y favorece el intemperismo.

El intemperismo diferencial de los minerales de las rocas ultrabásicas se expresa en una alteración más rápida del olivino que la del ortopiroxeno, la que a su vez es más rápida que la del clinopiroxeno. La serpentinita se intemperiza más lentamente que otras rocas ultrabásicas y, por lo tanto, se localiza en posiciones más altas dentro del perfil laterítico. Esto puede explicar el por qué el olivino puede liberar Ni hacia las soluciones del intemperismo, de ahí que las lateritas niquelíferas puedan contener entre 2 % y 5 % de Ni en los horizontes de menas silicatadas y entre 1 % y 3 %, como promedio, en las zonas de menas oxidadas.

**Peridotita:** Roca ígnea ultramáfica, constituida de olivino, piroxeno y anfíboles. Se presenta en los núcleos de los escudos continentales, presentando facies granulíticas, facies cumulíticas y granatíferas.

**Dunita:** Roca ultramáfica compuesta esencialmente de olivino. Si contiene entre 0 y 10 % de ortopiroxeno (enstatita) se nombra dunita enstatítica. Se caracterizan por un color negro verdoso, texturas masivas y estructuras alotriomórficas, alotriomórficarelítica y reticular, constituidas por olivino fundamentalmente desde un 15 % a un 95 % y escasos granos de ortopiroxeno.

**Harzburgita:** Roca ultramáfica compuesta esencialmente de olivino y ortopiroxeno. Si contiene hasta 10 % de clinopiroxeno la roca es una harzburgita clinopiroxénica.

**Lherzolita:** Roca ultramáfica compuesta esencialmente por olivino, con cantidades subordinadas de ortopiroxeno y clinopiroxeno. Si contiene plagioclasa hasta 15 % se nombra lherzolita plagioclásica.

**Serpentinita:** Roca metamórfica regional, ultrabásica. Componentes serpentina, accesorios, magnesita y talco de color verde claro. La serpentinización se realiza sobre los piroxenos, anfíboles y peridotos. Su nombre deriva del color y de los listados de las serpientes. Variedades: crisotilo, garnierita.

En algunos lugares se observa la cementación de las concreciones ferruginosas, formando bloques o pseudoestratos con tabiques ferruginosos de unión entre ellos en cortezas típicas de ultramafitas, lo que testimonia su génesis infiltrativa por removilización parcial del hierro en medios superficiales con pH ácidos.

**Tabla .2** Generalidades del quimismo de las rocas ultrabásicas.

Tipos de rocas	MgO	SiO <sub>2</sub>
Dunita _ Harzburgita	Mayor de 35%	Menor de 42%
Lherzolita	27% a 35%	Menor de 42%
Serpentinita	Mayor de 30%	30% a 40%
Gabros	10% a 25%	35% a 50%
Peridotita o Dunita Plagioclásica	30% a 40%	30% a 35%

# CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

## 1.1 Introducción.

En este capítulo se describen los principales rasgos geomorfológicos, tectónicos, hidrogeológicos, climáticos y geológicos del sector analizado así como también las características de la vegetación y la economía, lo cual permitirá tener una panorámica general acerca del área de estudio.

## 1.2 Características físico-geográficas regionales.

### 1.2.1 Ubicación geográfica.

La provincia de Holguín: está situada al Noroeste de la región oriental de Cuba, limita al Norte con el océano Atlántico, al Este con la provincia de Guantánamo, al Sur con las provincias de (Guantánamo, Santiago de Cuba y Granma) y al Oeste con la provincia de Las Tunas. Su área es de 9 215,72 km<sup>2</sup>, de ellos 9 167,62 km<sup>2</sup> de tierra firme, por lo que ocupa el tercer lugar entre las provincias de mayor superficie del país, después de Camagüey y Matanzas, además, tiene 48,1 km<sup>2</sup> de cayos, de los cuales el cayo Saetía presenta la mayor importancia con 40,69 km<sup>2</sup>, conocido comúnmente como la Isla de los Niños. (Pérez, Hidalgo s/a). (Ver figura 3).

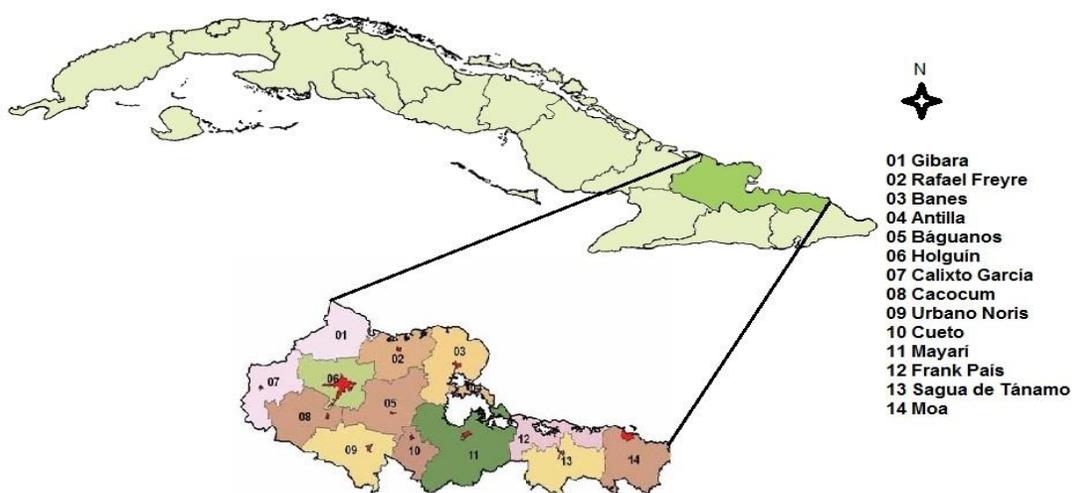


Figura.3 (Ubicación geográfica de la provincia de Holguín).

### **1.2.2 Características socioeconómicas de la región.**

Su población es de 1 027 683 habitantes ocupando el tercer lugar por población en el país, después de La Habana y Santiago de Cuba. Con densidad poblacional de 111.5 hab/ km<sup>2</sup>. Su gentilicio es holguinero y su capital: Holguín. Tiene 14 municipios: Gibara, Rafael Freyre, Banes, Antilla, Báguano, Holguín, Calixto García, Cacocum, Urbano Noris, Cueto, Mayarí, Frank País, Sagua de Tánamo y Moa. (Pérez, Hidalgo, 2011).

Mayarí ocupa el segundo lugar en la provincia en habitantes y el primero en extensión territorial. Además es el tercero del país en población entre los municipios que no son cabeceras de provincias, solo superado por Contramaestre y Cárdenas. Su población representa el 10.2 % del total de la provincia, se sitúa en el lugar 26 en cuanto a población y fondo habitacional del país y sólo en su tipo es superado por los municipios Palma Soriano y Manzanillo y en extensión territorial es el 8<sup>vo</sup> de Cuba (Pérez, Hidalgo, 2011).

### **1.2.3 Particularidades climáticas de la región.**

Los regímenes de temperatura y precipitación son los elementos climáticos que por excelencia caracterizan el clima de una región. La provincia Holguín a partir de los regímenes medios de temperatura y precipitación cuenta con tres zonas climáticas: costera (abarca la zona costera de los municipios de Gibara, Rafael Freyre, Banes, Antilla, Mayarí, Frank País y Moa), montañosa (zona montañosa de los municipios del este de la provincia que pertenecen al macizo Nipe-Sagua-Baracoa) e interior (a la que pertenecen el resto de los municipios). (Pérez, Hidalgo, 2011).

El clima se caracteriza por una temperatura media anual que varía desde la costa hacia el interior; en la faja del litoral y media oscila entre 26<sup>o</sup>-27<sup>o</sup> C, y del interior hacia el Oeste entre 24<sup>o</sup>-26<sup>o</sup> C. En la zona central, al igual que en la oriental debido a los factores orográficos, desciende con la altura desde los 23<sup>o</sup> C hasta los 17<sup>o</sup> C. Las precipitaciones son menores en la zona occidental, donde se registra un valor medio anual entre 1 000 y 1 200 mm, que aumenta progresivamente hacia el Este hasta alcanzar valores entre los 1 500 y 2 000 mm (Pérez, Hidalgo, 2011).

Zona Costera: La temperatura media del aire oscila entre 24-28°C (Ver figura. 4) y los acumulados anuales de precipitación se encuentran entre 800-1200 mm (Ver figura. 5). En esta zona se alcanzan las mayores velocidades del viento para la provincia con valores que superan los 22.8 km/h durante el período noviembre-abril, la dirección predominante durante todo el año del ENE-E (más del 60 % de los casos), mientras la frecuencia de calmas no excede el 15 % (Pérez, Hidalgo, 2011).

Zona Montañosa: La temperatura media del aire oscila entre 18-22°C (Ver figura. 4) y los acumulados anuales de precipitación superan los 1200 mm (Ver figura. 5). En esta zona se alcanzan los valores más bajos de la velocidad del viento para la provincia con registros que no superan los 10.8 km/h durante el período noviembre-abril, la dirección predominante tiene gran variación con valores de 17.7 %, 12.9 % y 12.1 % en las direcciones del NE, E y SE respectivamente, en tanto la frecuencia de calmas excede el 30 % de los casos (Pérez, Hidalgo, 2011).

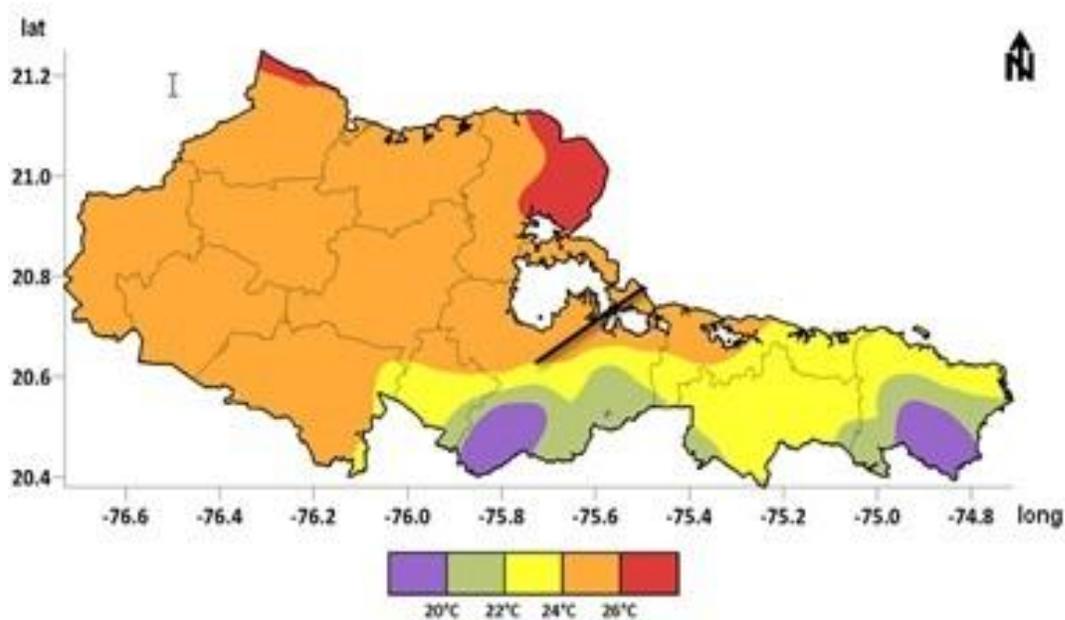


Figura 4. Mapa esquemático de distribución anual de la temperatura media del aire en la provincia Holguín según la norma climática 1981-2010 (Pérez, Hidalgo, 2011).

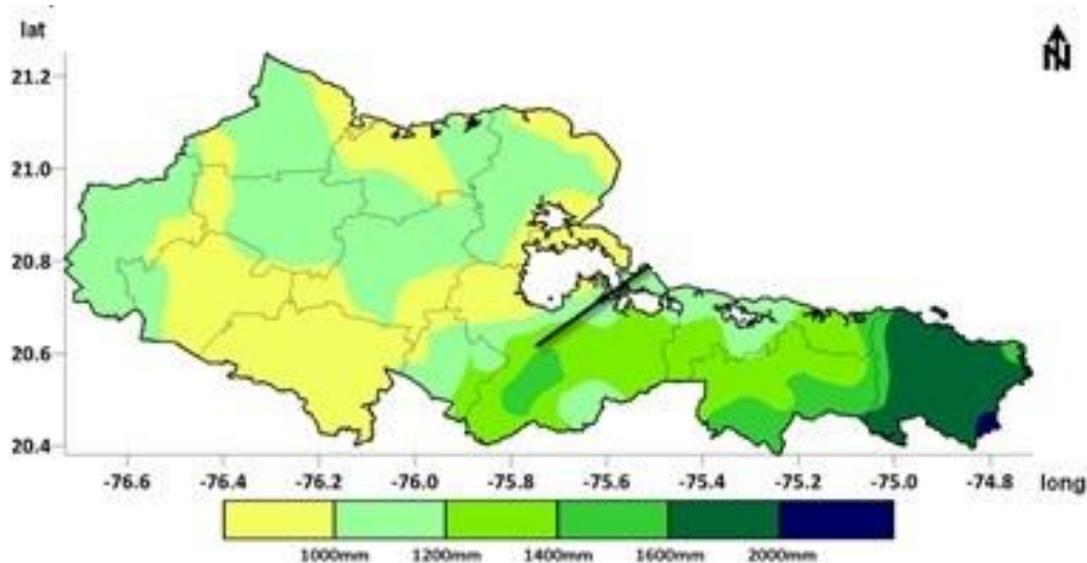


Figura 5. Mapa esquemático de distribución anual de los acumulados de precipitación en la provincia Holguín según la norma climática 1981-2010 (Pérez, Hidalgo, 2011).

La humedad relativa del aire en el municipio es de 84.1 %, siendo esta superior a la media normal (80 %), lo cual demuestra que se está en presencia de una zona con características climáticas húmedas, determinadas por la abundancia de lluvias caídas, así como las bajas temperaturas que reinan durante casi todo el año.

La clasificación de Köppen- Geiger a partir de la configuración y la disposición de los sistemas montañosos, y los índices de temperatura y precipitaciones; permite distinguir cinco tipos de clima. (Ver figura. 6)

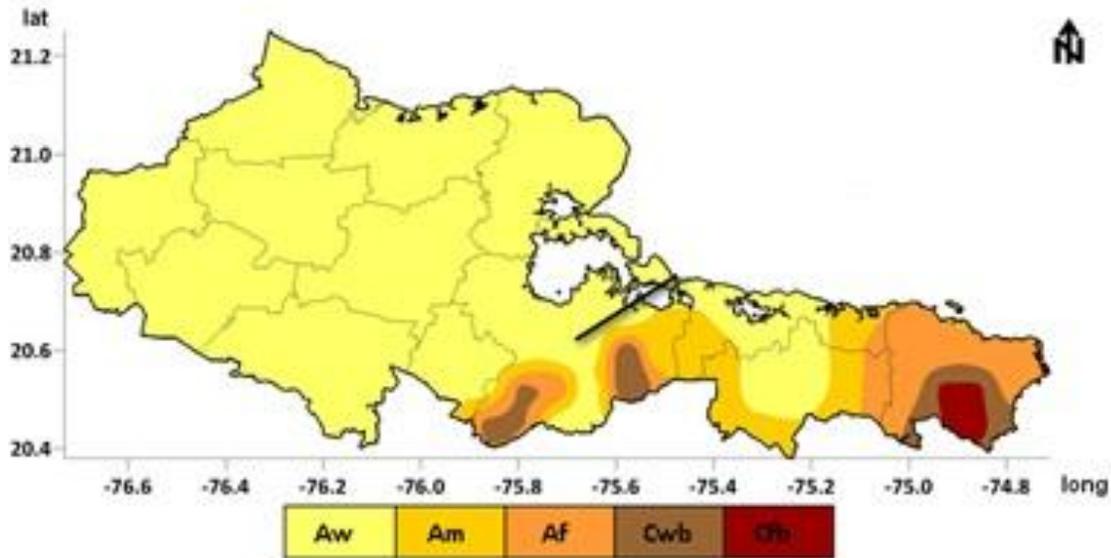


Figura 6. Mapa esquemático de regionalización climática mediante la clasificación de Köppen-Geiger de la provincia Holguín en base a la norma climática 1981-2010.

El área de estudio hacia su mitad norte y centro-sur presenta un clima del tipo sabana tropical (aw), al este y parte del sureste aparecen franjas de un clima tipo monzónico (am). Al sur del municipio se presentan porciones de un clima de tipo selva tropical. El clima de tipo templado se muestra en las regiones montañosas de alturas superiores a 500 por encima del nivel del mar, representadas en la zona principalmente por las montañas de Pinares de Mayarí; donde el clima es templado húmedo y fresco sin estación seca (cwb).

### 1.2.4 Vegetación regional.

La vegetación natural actual de la región se encuentra altamente afectada por la actividad antrópica. El resto de las áreas está ocupado por matorrales secundarios y vegetación cultural.

Bosque Tropical Aciculifolio (Pinar con *Pinus cubensis*): En el área de estudio los pinares ocupan las montañas pequeñas desde los 500 m de altura en los macizos montañosos Sierra de Nipe – Cristal.

Bosques Tropicales Latifolios (Bosque siempre verde mesófilo de baja altitud): Se ubican principalmente en la zona de premontaña y submontaña sobre suelo pardo sin carbonato.

Bosque semidecíduomesófilo (Matorral secundario con bosques y comunidades herbáceas): Estos ocupan parte de las alturas de rocas sedimentarias carbonatadas.

Matorral Tropical Latifolio (Xeromorfosubespinoso sobre serpentinita (Charrascal)): Se encuentra en las premontañas y submontañas formadas por serpentinita hasta una altura de 450 m por encima del nivel del mar.

Complejo de Vegetación de Mogote: Se encuentra en las alturas de rocas sedimentarias carbonatadas sobre suelos pardos con carbonatos.

Manglar: Ubicado en la llanura fluvio-marina, deltáica sobre suelos hidromórficos, pantanosos y turbosos.

Muchos de estos bosques son afectados por la actividad antrópica transformándolos para la utilización de los suelos en la agricultura, la ganadería, la minería, construcción de obras hidráulicas y la explotación de los recursos forestales sin tener en cuenta su importancia para la conservación de los suelos y la estabilidad en los taludes y los ecosistemas que ocupan.

### **1.3 Características geológicas regionales.**

#### **Geología regional y local**

En Acta Geológica Hispánica, Iturralde-Vinent resume la constitución geológica de Cuba a partir de dos niveles estructurales principales: el substrato plegado (orógeno cubano) y el neoautóctono (Ver figura. 7). El substrato plegado está constituido por terrenos tanto de naturaleza continental como oceánica. Los componentes del orógeno cubano son alóctonos y fueron acrecionados en el borde meridional de la placa norteamericana entre el Cretácico y finales del Eoceno. El neoautóctono está representado por las rocas y estructuras originadas

a partir del Eoceno Superior, que se desarrollaron básicamente en el mismo lugar que hoy ocupa el territorio de Cuba.

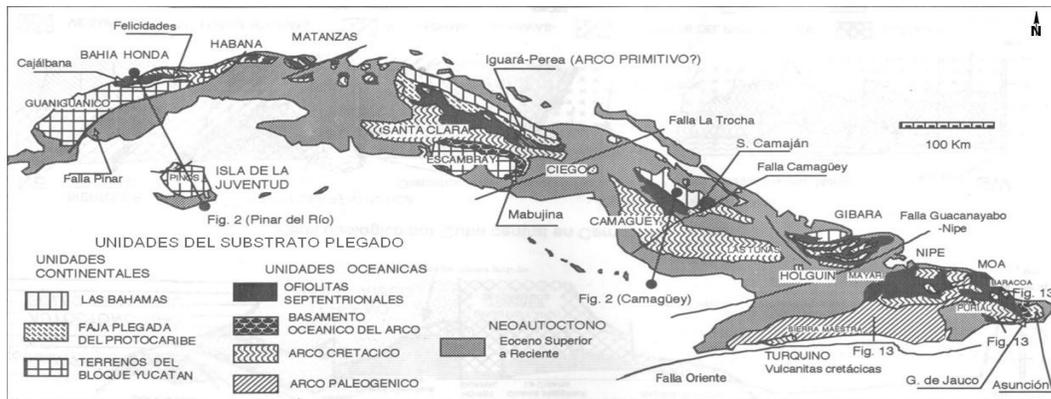


Figura. 7. Esquema geológico generalizado con los niveles estructurales de Cuba.

El municipio Mayarí se encuentra conformado por unidades del neoaútctono y del substrato plegado, este último representado por las ofiolitas septentrionales del complejo ofiolítico Mayarí – Baracoa.

Las ofiolitas del cinturón septentrional, afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad norte de la isla de Cuba, entre Cajálbana al oeste y Baracoa al este (Ver figura. 7), formando potentes cuerpos de rocas muy deformadas, que en la literatura geológica cubana se han denominado melanges. Dichos cuerpos deformados incorporan fragmentos y escamas de los macizos infra y suprayacentes. Las ofiolitas tienen distintas maneras de presentarse en superficie: como fajas estrechas muy deformadas asociadas a zonas de fallas, o bien como mantos tectónicos de diversa potencia. Las fajas estrechas se conocen bien, por ejemplo, a lo largo de la falla Pinar. Los mantos tectónicos de ofiolitas pueden presentar la “estratigrafía” interna del macizo bien preservada (como en Camagüey y Mayarí) o presentar un intenso grado de desmembramiento y mezcla con otras unidades geológicas (como en Bahía Honda, La Habana, Matanzas y Holguín) (Iturralde-Vinent, M. A. 1998).

Las litologías del macizo Mayarí - Baracoa está asociada principalmente al Complejo Cumulativo compuesto por cúmulos máficos (gabros olivínicos, noritas, troctolitas y anortositas) y ultramáficos (lherzolitas, websteritas, harzburgitas y raras dunitas), todos serpentinizados. Ocasionales cuerpos podiformes y venas cortantes de cromititas. Diques de gabroides, plagioclasitas y plagiogranitos. En la parte superior de la sección puede aparecer un cuerpo potente de gabros isotrópicos. Cerca de Mayarí, los diques de diabasas tienen pocos centímetros de espesor y se encuentran en haces paralelos entre las ultramafitas, a distancias de 1 a 5 metros uno de otro, con una inclinación de unos 50°-70° (Iturralde-Vinent, M. A. 1998).

En el área también se distinguen rocas carbonatadas y terrígenas carbonatadas sobreyaciendo a las ultramafitas serpentinizadas del complejo intrusivo del Cretácico Superior.

### **1.3.1 Estratigrafía**

El área de estudio se encuentra dentro de la región oriental de Cuba, la cual desde el punto de vista geológico se caracteriza por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del Neoaútctono (Pushcharovsky 1988). En el macizo montañoso Sagua-Moa afloran principalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas septentrionales y a los arcos de islas volcánicas del Cretácico y el Paleógeno (Cobiella, 1988, 1997, 2000; Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999). (Ver figura. 8)

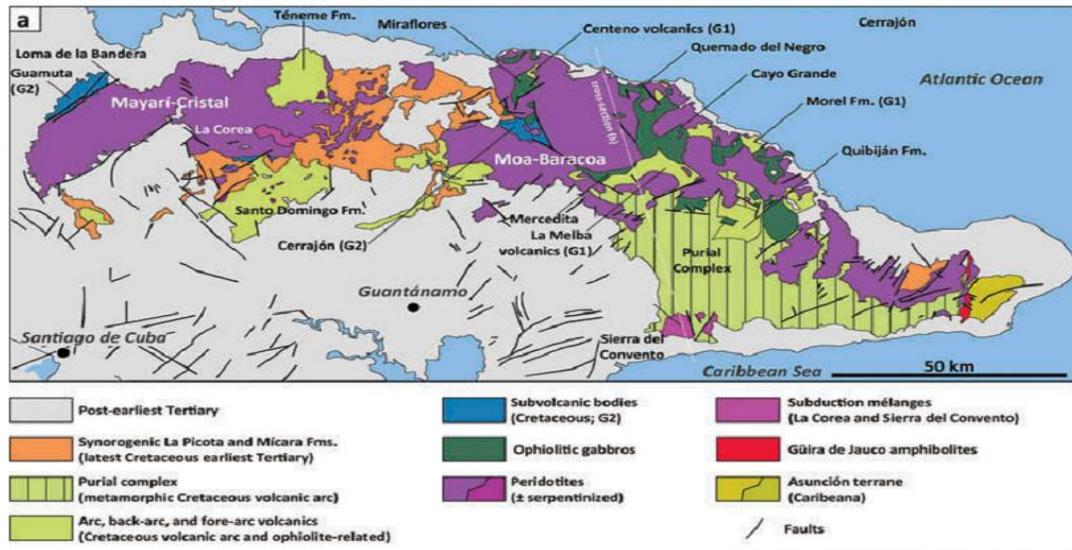


Figura 8. Fotografía del mapa geológico de (Pushcharovsky 1988).

A continuación se hace una breve descripción de las principales unidades estructuro-formacionales mencionadas anteriormente.

### Ofiolitas Septentrionales

Estas rocas afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad septentrional de la isla de Cuba a lo largo de una franja discontinua de más de 1000 km de largo y hasta 30 km de ancho, entre la localidad de Cajálbana al oeste y Baracoa al este, ocupando una extensión areal superior a los 6500 km<sup>2</sup>. Desde el piso hasta el techo estos complejos rocosos se encuentran divididos estratigráficamente en las siguientes zonas fundamentales: a) una zona de harzburgitas con textura de tectonitas; b) una zona de harzburgita que contiene principalmente cuerpos de dunitas, peridotitas “impregnadas” (con plagioclasa y clinopiroxeno), sills y diques de gabros y pegmatoides gabroicos, así como cuerpos de cromititas. Esta zona correspondería a la denominada Zona de Transición de Moho (MTZ-siglas en inglés); c) una zona de gabros, y d) el complejo volcano-sedimentario. La zona correspondiente al complejo de diques paralelos de diabasas aún no ha sido identificada en este macizo. (Ver figura.9)

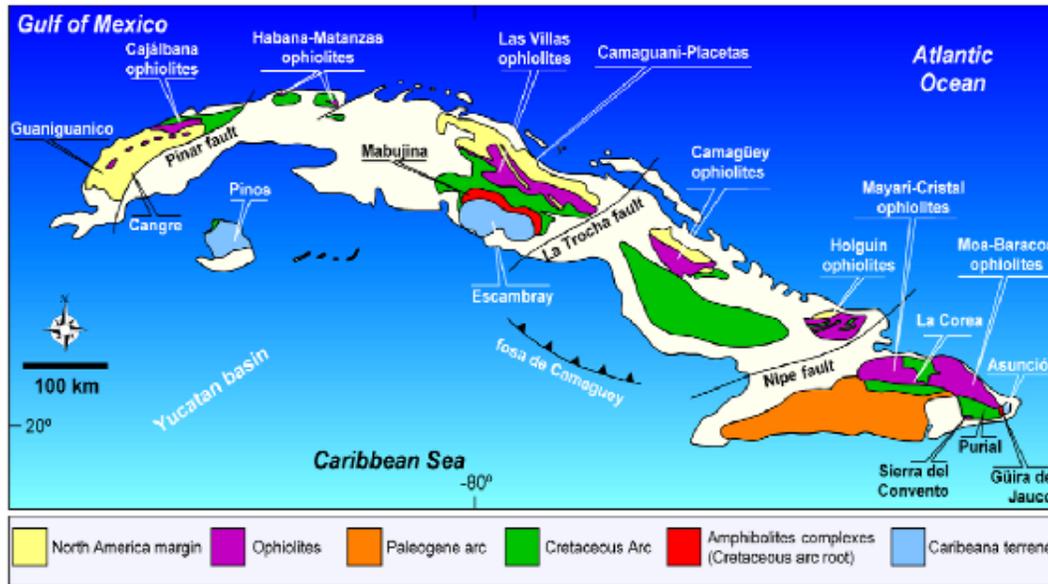


Figura 9. Fotografía del mapa esquemático que muestra la extensión superficial del Cinturón ofiolítico cubano. (Blanco-Quintero, 2010).

El Complejo Peridotítico (tectonitas), se caracteriza por presentar harzburgitas, en menor grado websteritas y lherzolitas, con bolsones aislados de dunitas, todas serpentinizadas (Iturralde-Vinent, M. A. 1998). La zona de gabros forma grandes cuerpos incluidos en el complejo de tectonitas. Las dimensiones de estos cuerpos oscilan entre 1 y 3 km. de ancho, por 10 a 15 km de longitud (Fonseca, et al. 1985). El contacto entre el complejo de tectonitas y el de gabros es mayoritariamente tectónico.

La parte inferior del complejo de gabros se caracteriza por presentar un marcado bandeamiento, mientras que la parte superior es isótropa. En este macizo también existen numerosos cuerpos de cromititas y sills de gabros, así como diques de gabros y de pegmatoides gabroicos (Fonseca et al. 1985; Proenza, et al. 1998). Los sills de gabros y las cromititas se localizan en la parte más alta de la secuencia mantélica, en la zona de transición entre las peridotitas con texturas de tectonitas y los gabros bandeados.

El Complejo Transicional (MTZ) se constituye principalmente de harzburgitas, lherzolitas y websteritas con bolsones y bandas duníticas, todas serpentinizadas, a veces con cromititas podiformes, diques de gabroides y diques aislados de plagiogranitos. En ocasiones se observan complejos de haces entrecruzados de diques zonados de plagioclasitas, gabroides y pegmatitas, impregnando una masa de serpentinitas brechosas, probables representantes de antiguas cámaras magmáticas colapsadas (Iturralde-Vinent, M. A. 1998).

El complejo cumulativo se caracteriza por presentar cúmulos máficos de gabros olivínicos, noritas, y anortositas y ultramáficos como lherzolitas, websteritas, harzburgitas y raras dunitas, todos serpentinizados. Existen ocasionales cuerpos podiformes y venas de cromititas. Además de los diques gabroides, plagioclasitas y plagiogranitos, en la parte superior de la sección pueden aparecer cuerpos potentes de gabros isotrópicos (Iturralde-Vinent, M. A. 1998).

El complejo de diques paralelos de diabasas no ha sido reconocido en todo el complejo ofiolítico Moa-Baracoa y aunque su presencia ha sido invocada en el extremo noroeste de la Meseta Pinares de Mayarí, los últimos resultados obtenidos indican que estos cuerpos de diabasas poseen rasgos geoquímicos propios de arcos de islas (Díaz y Proenza, 2005).

El complejo vulcanógeno-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos de la secuencia ofiolítica. Está compuesto por basaltos amigdaloidales y porfíricos (algunas veces con estructura de almohadillas), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de cherts y calizas. Estas litologías afloran en Morel, La Melba, Cañete, Quesigua y Centeno (Díaz y Proenza, 2005).

### **1.3.2 Características hidrográficas e hidrogeológicas regionales**

La abundancia de precipitaciones atmosféricas, así como la morfología son los factores que condicionan el desarrollo de una compleja y densa red hidrográfica, la cual constituye una valiosa reserva del potencial hídrico con el que cuenta la región, como lo son los ríos: Mayarí, Nipe, Guaro, Piloto, Naranja, Sojo y Birán, entre otros.

Existe en la zona una cantidad considerable de pequeños ríos, arroyos y cañadas, los cuales son tributarios de los ríos principales (Mayarí, Nipe, Guaro). Alguno de estos pequeños ríos en su curso por los flancos de la meseta forma cascadas que caen desde alturas de algunos metros hasta decenas de metros formando cañones profundos y estrechos.

La red de drenaje es variada, distinguiéndose la red fluvial de tipo radial y en menor grado de desarrollo las redes del tipo sub-paralela con orientación SE, y angular en los límites y flancos de la meseta. También se acentúa una red de tipo dendrítica en la superficie semi-plana de la meseta con amplio desarrollo de una corteza de intemperismo potente.

El río Mayarí, como río fundamental, corre principalmente de sur a norte, el mismo en su curso arrastra un gran caudal y atraviesa una llanura denudativa sobre un lecho de rocas onduladas y diseccionadas. A lo largo del río se desarrolla un valle en forma de U lo cual denota su madurez. En su curso superior este río es alimentado por los ríos de menor envergadura La Caoba y La Jarahueca, además de esto, la zona se encuentra drenada por otros ríos y numerosos afluentes los cuales alcanzan un número elevado.

Las aguas del río Piloto corren en dirección W - E y su valle aparece encajonado en algunos sectores en forma de V lo que indica que está en la etapa de juventud. En los límites de la superficie semi-plana se observa generalmente un cambio brusco de los valores del gradiente de su perfil longitudinal. La amplitud y profundidad de su cauce son variables

El río Naranjo presenta características hidrográficas y geomorfológicas similares a las del río Mayarí y Piloto, sus aguas corren en dirección W - E, su valle presenta formas combinadas de pequeños valles en forma de V, con algunos barrancos donde la erosión de fondo es más acentuada, por lo que el perfil del río en estos tramos tiene mayor pendiente.

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, se considera como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. En el área están presentes tres horizontes acuíferos:

Horizonte acuífero de los sedimentos aluviales del Cuaternario Superior.

Este complejo acuífero se encuentra localizado en la terraza del río Mayarí. Está conformado litológicamente por arcillas, arenas y gravas de distintos tamaños y composición.

Horizonte acuífero de las rocas carbonatadas del Cuaternario Medio. Está representado por rocas calizas órgano-detríticas (arrecifales) y calcarenitas.

Horizonte acuífero de los sedimentos turbo-cenagosos del Cuaternario Superior. Este horizonte acuífero se observa en todos los humedales costeros, representado en su mayor parte por turba, a veces con una mezcla de material arcilloso o carbonatado (marga).

En general las aguas subterráneas presentan una mineralización muy variada que oscila de 28 mg/l a 0.6 mg/l, aumentando la concentración de las sales solubles totales en dirección al mar. Químicamente se clasifican como cloruradas sódicas en dependencia a la concentración de los iones predominantes. La dirección del flujo subterráneo coincide con el flujo superficial.

### **1.3.3 Tectónica Regional**

Esta región se caracteriza por su actividad tectónica actual vinculada a la última etapa de evolución geológico – tectónica de la isla, en la cual permanecen con un grado de actividad significativa los movimientos verticales y horizontales. La génesis de estos movimientos está vinculada con su ubicación en las proximidades de la zona de fallas Bartlett–Caimán que es la principal estructura tectónica activa de este territorio, al tiempo que constituye el límite transformante entre las placas litosféricas Caribeña y norteamericana (Alonzo Daniel, 2013).

Por las investigaciones sismotectónicas de la región, se comprobó que los movimientos recientes, condicionaron la desarticulación del territorio en un sistema de bloques tectónicos con un régimen peculiar de desarrollo, teniendo los límites de los bloques por lo general una naturaleza disyuntiva, destacándose en la región nororiental, los bloques Holguín, Mayarí-Moa-Baracoa y la cuenca Cauto–Nipe (Alonzo Daniel, 2013).

#### **1.3.4 Composición de la MTZ en el macizo Mayarí -Moa-Baracoa.**

1. Las harzburgitas presentan texturas típicas de tectonitas en las que se pueden observar porfiroclastos de enstatita a veces con evidentes signos de deformación (extensión ondulada), con bordes de grano cóncavo-convexos, incluidos en una matriz recristalizada en la que los cristales de olivino pueden llegar a tener tamaño milimétrico.
2. Las dunitas, especialmente las existentes envolviendo los cuerpos de cromititas, presentan mayor tamaño de grano que la harzburgitas y texturas granoblásticas no deformadas, lo que pone de manifiesto la existencia de un intenso proceso de recristalización post deformación, probablemente asociada a la reacción peridotita/ magma.
3. Las cromitas accesorias en las peridotitas exhiben una morfología vermicular y, en menor medida subidiomorfa en las harzburgitas. Por el contrario, en las dunitas predominan las morfologías euhédricas o redondeadas sobre los vermiculares. Este hecho sugiere que, en las dunitas, la cromita está igualmente recristalizada.
4. En las peridotitas “impregnadas” de plagioclasa y de piróxenos el olivino presenta evidencias de deformación, mientras que el clinopiroxeno no. Estas rocas evolucionan lateralmente, por aumento de las proporciones modales de clinopiroxeno y plagioclasas, a sills de troctolitas.
5. Existe un gran desarrollo de sills de gabros, los cuales pueden estar incluidos en cromititas.

6. Se observan variaciones mínimas en el contenido de Fe del olivino en los diferentes tipos de litologías ultramáficas, los que cuestiona la incidencia de la fusión parcial como mecanismo responsable de la deformación de las rocas refractarias.
7. El número del Mg en el olivino se correlaciona positivamente con el porcentaje de TiO<sub>2</sub> de la cromita asociada coexistente con las dunitas y las harzburgitas, y negativamente con el número del Cr de dichas cromitas asociadas. Tales variaciones químicas no son explicables mediante procesos de fusión parcial o cristalización fracturada. En cambio, son compatibles con un origen residual de estas rocas mantélicas, debido a procesos de reacción de las peridotitas con fundidos intergranulares que circulan a través de estas mediante flujo poroso.
8. El número de Cr de la cromita accesoria varía, en la mayor parte de las harzburgitas, en las dunitas, en las peridotitas “impregnadas” y en los sills de gabros dentro de un estrecho margen (entre 0,45-0,65 %).
9. El patrón de REE, normalizado a condritos, de las harzburgitas y dunitas no puede ser explicado exclusivamente por un proceso de fusión parcial y ha sido interpretado como producto de metasomatismo mantélico enriquecimiento cromatológico en fundidos percolantes de elementos incompatibles, asociados a interacción (reacción fundido/roca).

### **1.3.5 Condiciones geoambientales regionales.**

Actividad Antrópica: Los niveles alcanzados en la mecanización del trabajo agrícola, particularmente en la agricultura cañera y en la explotación forestal, influyen directamente en el aumento de las afectaciones por compactación de suelos agrícolas y forestales, así como las condiciones naturales favorecen el desarrollo de procesos erosivos, los cuales tienen diversos grados y formas.

Su base económica fundamental es la industria niquelífera con tres plantas procesadoras de níquel y dos plantas de cromo refractario; le sigue el turismo, es el tercer polo turístico del país por el número de instalaciones hoteleras, sus recursos naturales y paisajísticos y sus más de 50 playas. Tiene cinco complejos agroindustriales azucareros con una norma potencial de molienda diaria superior a los 3,0 millones de arrobas.

En la rama de la maquinaria no eléctrica cuenta con las fábricas de combinadas cañeras (KTP) e implementos agrícolas; producciones mecánicas de níquel, elementos de corte, mangueras plásticas, fábrica de tubos de polietileno, cilindros hidráulicos, constructora de barcos e hilandería. La industria de materiales de construcción produce baldosas, bloques de hormigón, ladrillos, piezas prefabricadas, mármoles, mosaicos, piedra triturada, arena, azulejos, muebles sanitarios, cerámica roja, cerámica blanca, madera, etc.

Otras producciones industriales importantes son: fertilizantes mezclados, fábrica de pienso, molino de trigo, ácido sulfúrico, hilandería, textiles, calzado, confecciones, fábricas de tabacos y cigarrillos, artesanía, etc. En la industria alimenticia se destacan las fábricas de cerveza, refrescos, galletitas, los combinados lácteo y cárnico e industria de conservas y confituras, de fideos.

También se destaca la producción de energía eléctrica por los seis generadores del parque eólico de Gibara, capaces de producir 5,1 MW, la termoeléctrica de Felton con una capacidad de generación de 500 MW en sus dos turbogeneradores, además se le instaló un emplazamiento de 24 motores de 2,5 MW cada uno, para una capacidad de 60 MW, que en total generan 560 MW y varias subestaciones de 110 y 220 000 KW.

Sus principales recursos naturales son sus potenciales agrícolas y forestales, sus yacimientos minerales de níquel, cromo refractario, oro, manganeso, hierro, cromo metálico, zeolita, feldespato y materiales de construcción, además de su potencial turístico con numerosas playas de excelente calidad, escenarios naturales, variedad de cuevas y lugares con gran interés paisajístico, histórico y cultural.

Posee bahías con magníficas condiciones para el aprovechamiento portuario, con cuatro puertos y cinco subpuertos.

Otras actividades económicas son la forestal, silvícola, la acuícola y la pesca costanera. Su fondo agrícola es de 5 228,6 km<sup>2</sup>, forestal de 3 283,3 km<sup>2</sup>, no agrícola de 4 064,2 km<sup>2</sup> y cultivada de 2 784,2 km<sup>2</sup>. La superficie agrícola representa el 56,2 % de la superficie total de la provincia, de ella el 53,2 % está cultivada. Los principales cultivos son: caña de azúcar el 20,8 %, café el 1,7 %, cacao el 0,05 %, pastos y forrajes el 0,27 %; plátano el 0,53 %, cítricos el 0,06 %, frutales el 0,13 % y cultivos varios el 13,0 %. Se explota la ganadería vacuna, porcina y ovina con grandes producciones, además de la avícola.

## **CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.**

2.1 Introducción

2.2 Etapa preliminar

2.3 Procesamiento de la información

2.4 Interpretación de los resultados

### **Introducción**

El presente capítulo abarca los trabajos proyectados para las diferentes etapas de la investigación (búsqueda bibliográfica, trabajos de campo e interpretación de los resultados) (Ver figura. 10). Además recoge algunos conceptos básicos, principios teóricos y métodos de análisis que contribuyen a la interpretación de los datos obtenidos para hacer una correcta selección de las áreas perspectivas. Se dividió el trabajo en tres etapas fundamentales:

Etapa I: Búsqueda bibliográfica.

Etapa II: Procesamiento de la información.

Etapa III: Interpretación de los resultados.

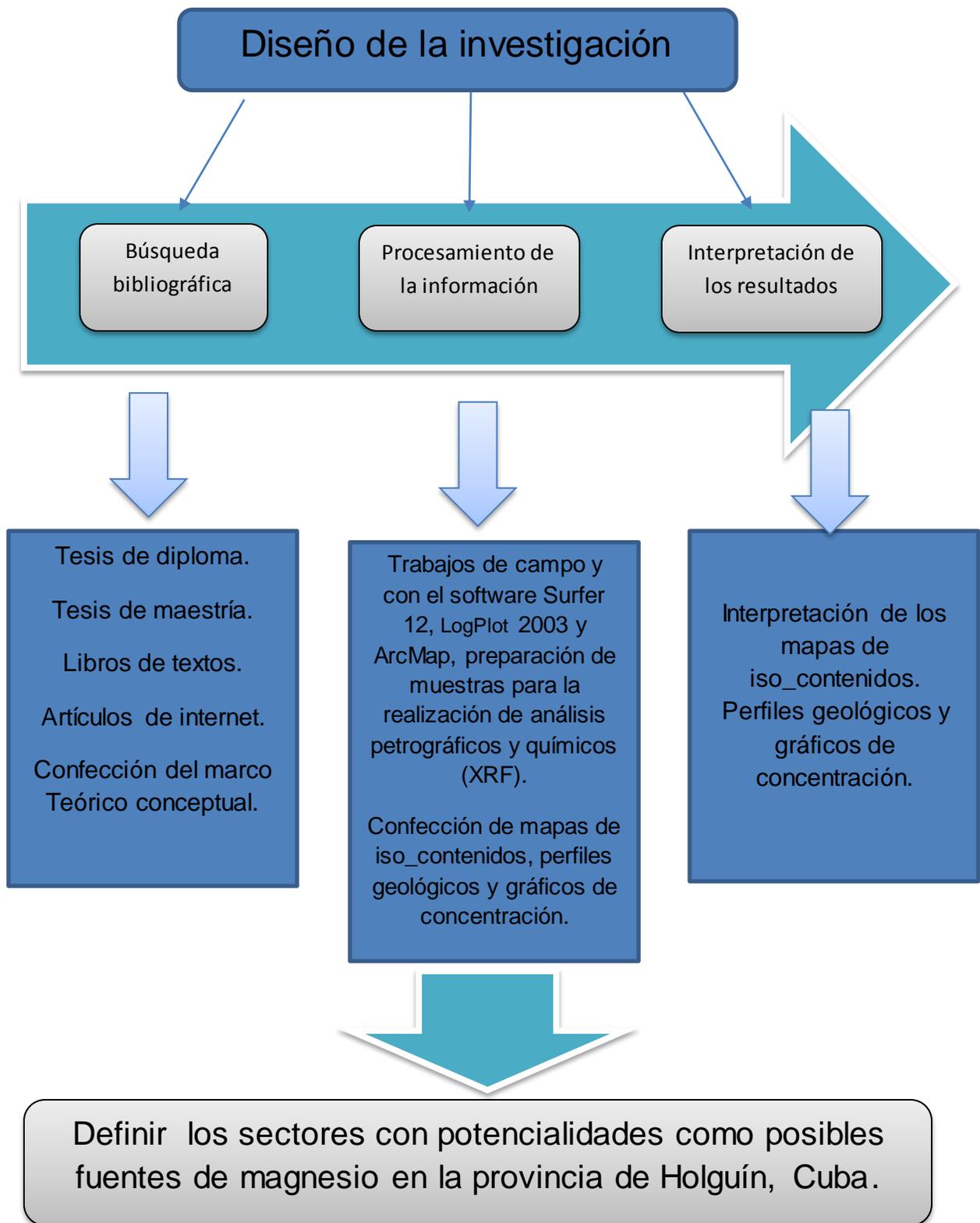


Figura.10 Flujograma de la investigación.

## **2.1 Búsqueda bibliográfica.**

Durante esta primera etapa de la investigación, se hizo una búsqueda de información bibliográfica, mediante la revisión de una serie de artículos científicos, trabajos de diploma, tesis de maestría, doctorados y otros documentos relacionados con la evolución geológica de Cuba oriental y del complejo ofiolítico.

Para ello se utilizó la base de datos del Centro de información del ISMM y el IGP, así como información suministrada por el fondo geológico y la Internet, oficina nacional de recursos minerales especializados en el tema. Luego de haber desarrollado la búsqueda bibliográfica de dicha información, se comenzó a procesar e interpretar los datos obtenidos previamente para posteriormente ser llevados a formato digital como parte de la memoria escrita del trabajo y también como documentos gráficos incluidos.

## **2.2 Procesamiento de la información.**

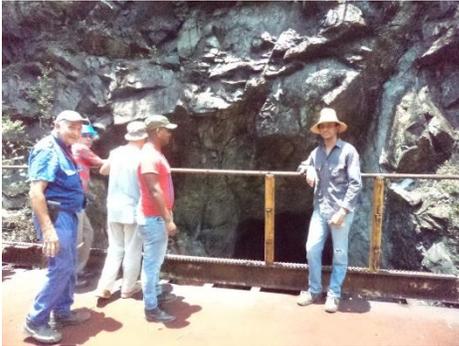
### **Trabajo de campo**

En esta etapa se realizó el trabajo de campo con los compañeros del IGP el Dr C.Waldo Damián Lavaut Copa, Ms C.Rolando Batista Gonzáles, y el Ms C.Yurisley Valdés Mariño, Dr C.Carlos Leyva y otros compañeros en diferentes lugares de la provincia donde se encontraban las rocas ultrabásicas que pueden ser fuentes de magnesio (Mg) o por lo menos presentar contenidos del mineral. Los sectores que se visitaron fueron Moa (Cayo Guam, Merceditas y otros), Mayarí (Pinares de Mayarí, La estrella, y otros) se escogieron estos sectores por el grado de estudio que presentaban. (Ver figura. 11)

**Coordenadas de las fotos del sector Merceditas:**

**N 2043719 W07484581 h=378m**

**a)**



**b)**



**c)**



**d)**



Figura11 .Fotos del sector Merceditas visitado durante el trabajo de campo.

**Toma de muestras**

Se tomaron las muestras de rocas para realizarle la petrografía y los analisis quimicos correspondientes.

## Trabajos de laboratorio

Para el análisis de las muestras de rocas seleccionadas en la presente investigación fue necesario realizar trabajos de laboratorio que estuvieron dirigidos hacia la petrografía para las determinaciones mineralógicas de las muestras.

### Análisis petrográfico

Para la realización de los análisis petrográficos se confeccionaron una serie de secciones delgadas a partir de las muestras que fueron tomadas en las salidas al campo en los sectores más significativas del área de estudio, las cuales posteriormente fueron llevadas al laboratorio de preparación de muestras de rocas y minerales del ISMMM, donde se procedió a la elaboración de las secciones delgadas. (Ver figura 12. A y B).

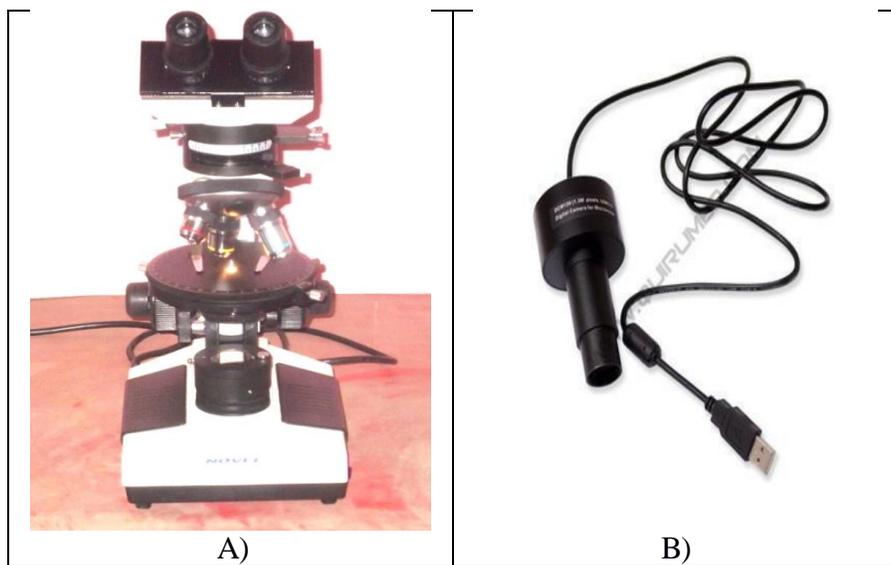


Figura 12. Microscopio petrográfico de luz polarizada modelo NP-400B, marca Novel.

### Método de fluorescencia de rayos X (FRX)

Para determinar la composición química total de las muestras se realizó en el Centro de Investigaciones para la Industria Minero-Metalúrgica con el objetivo de realizarles análisis de la composición química cualitativa y cuantitativa utilizando el equipo de fluorescencia de rayos-X (FRX) marca Axios (Figura 13 A y B). El método consiste en hacer incidir un haz de rayos-X con energía suficiente para excitar los diferentes elementos que componen la muestra. Los átomos excitados al pasar al estado normal emiten radiaciones X, cuya longitud de onda va a ser característica de cada elemento, y la intensidad de su fluorescencia es proporcional al contenido de dicho elemento en la muestra. El espectrómetro es capaz de separar las diferentes longitudes de onda y determinar su intensidad. Mediante la resolución de un sistema de ecuaciones se calcularon los contenidos de los diferentes elementos, a través de la correspondencia con una serie de muestras patrones con las que se calibra el equipo.

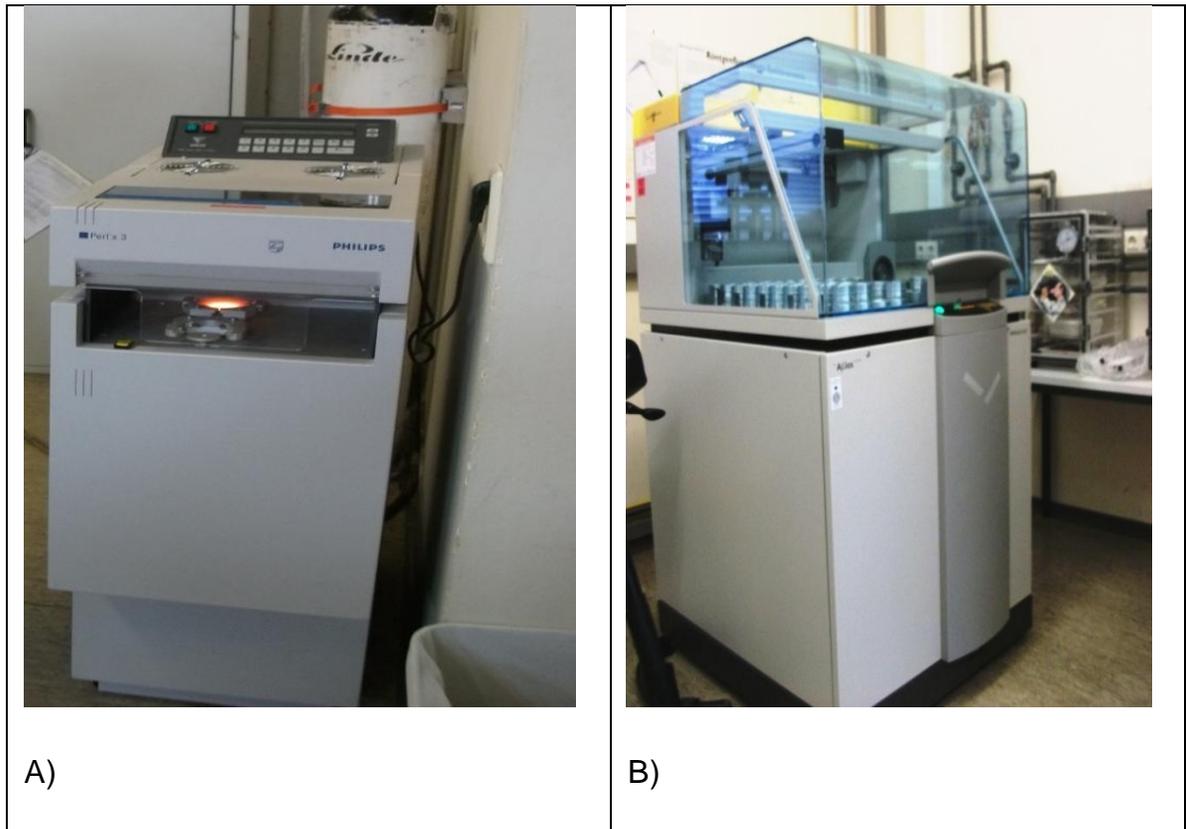


Figura 13. Fotografía del equipo de fluorescencia de rayos-X, marca Axios.

## **Trabajo con los Softwares especializados.**

En esta etapa se llevó a cabo el procesamiento de toda la información primaria obtenida en el campo y brindada por el IGP. Sobre la base de estos datos fueron confeccionados los mapas de contenidos en la corteza total de los elementos Mg, SiO<sub>2</sub>, también se generaron los gráficos que muestran el comportamiento geoquímico de los elementos para las zonas con valores anómalos. Para la confección de los mapas de contenidos se utilizó el promedio de los valores de los elementos químicos, así como todas las redes de perforación realizadas en los sectores que se estudiaron. Para desarrollar el procesamiento de esta información se emplearon fundamentalmente programas especializados como: Surfer 11, LogPlot 2003, ArcMap, Microsoft Access 2010 y Microsoft Excel 2010.

### **Software Surfer12**

El software Surfer12 con el cual se generaron los mapas de contenidos, en ellos se puede observar el comportamiento de los contenidos de los diferentes elementos analizados. Este software brinda la posibilidad de resaltar en colores, con un número asignado en %, las zonas con valores anómalos. Para la confección de los mapas de concentración se toma la base de datos brindada por el IGP y se escogen los valores de las coordenadas y las concentraciones del elemento que se desea mapear. Para los mapas de puntos se escogen las coordenadas y los pozos, después que se terminan se les asignan la leyenda, escala de colores y de distancia y el nombre del mapa que le corresponde (Ver Figura 14.).

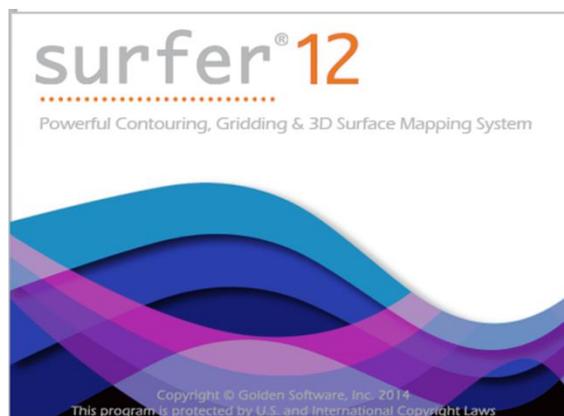


Figura 14. Software (Surfer 12) utilizado en la confección de los mapas de contenidos de Mg.

### **Software LogPlot 2003**

Para la elaboración de los gráficos de los horizontes del pozo que muestran el comportamiento geoquímico en profundidad de los componentes útiles y nocivos, se utilizó el LogPlot 2003 el cual permite hacer una representación gráfica en profundidad de la variación de la concentración de los elementos que se desea analizar, mediante histogramas y dar una idea visual de los horizontes de la corteza representado en columnas de los horizontes del pozo, además de la posibilidad de agregarle nombre y señalamientos mediante cuadros de texto, realizar una leyenda, entre otras opciones que ofrece el mismo, para ello se seleccionan los comandos que se quieren ejecutar que pueden ser: gráficos, columnas de horizontes de pozos, escalas y columnas de descripción por horizontes, este programa va representando en una ventana que se crea con el nombre de Log Desing, donde la misma se divide en tres secciones: la parte superior donde se puede establecer un encabezado, donde se le agrega el nombre a lo que se representa gráficamente; el área en la cual se realizan todos los gráficos es la sección central y la más importante de las tres porque es la que da una vista previa de lo que se va a obtener una vez que se haya terminado de procesar la información, la última y no menos importantes es la parte inferior donde se puede trabajar de igual forma que en la parte superior (ver figura 15) .

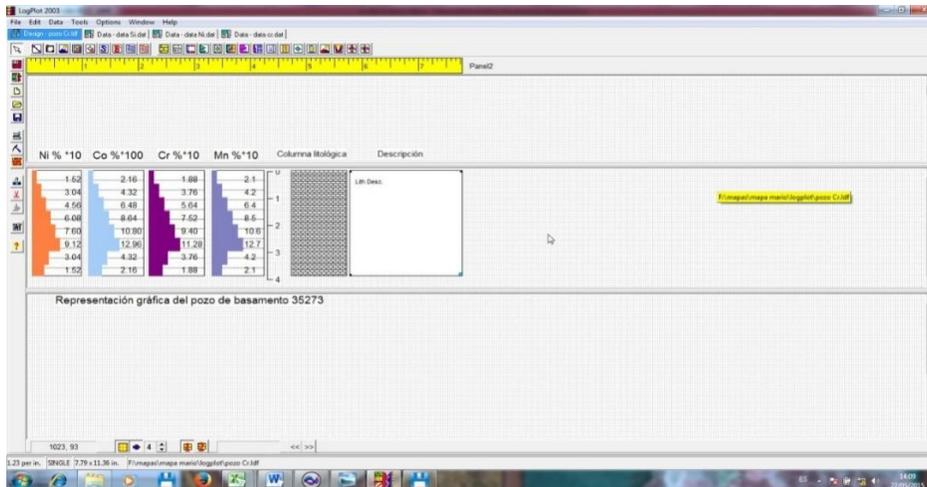


Figura 15. Software (LogPlot 2003) especializado en la realización de perfiles y comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad.

## Software ArcMap

Para la realización del mapa de las provincias orientales con los pozos de perforación y sus coordenadas incluidas así como con el promedio de Magnesio de cada pozo se utilizó el software ArcMap, con el que se definió cuáles eran las zonas más perspectivas de la provincia de Holguín. Este software brinda la posibilidad de resaltar en colores, con un número asignado en %, las zonas con valores anómalos. Para la confección de los mapas de concentración se toma la base de datos brindada por el IGP y se escogen los valores de las coordenadas y las concentraciones del elemento que se desea mapear. (Ver figura 16, 16.1, 16.2, 16.3).

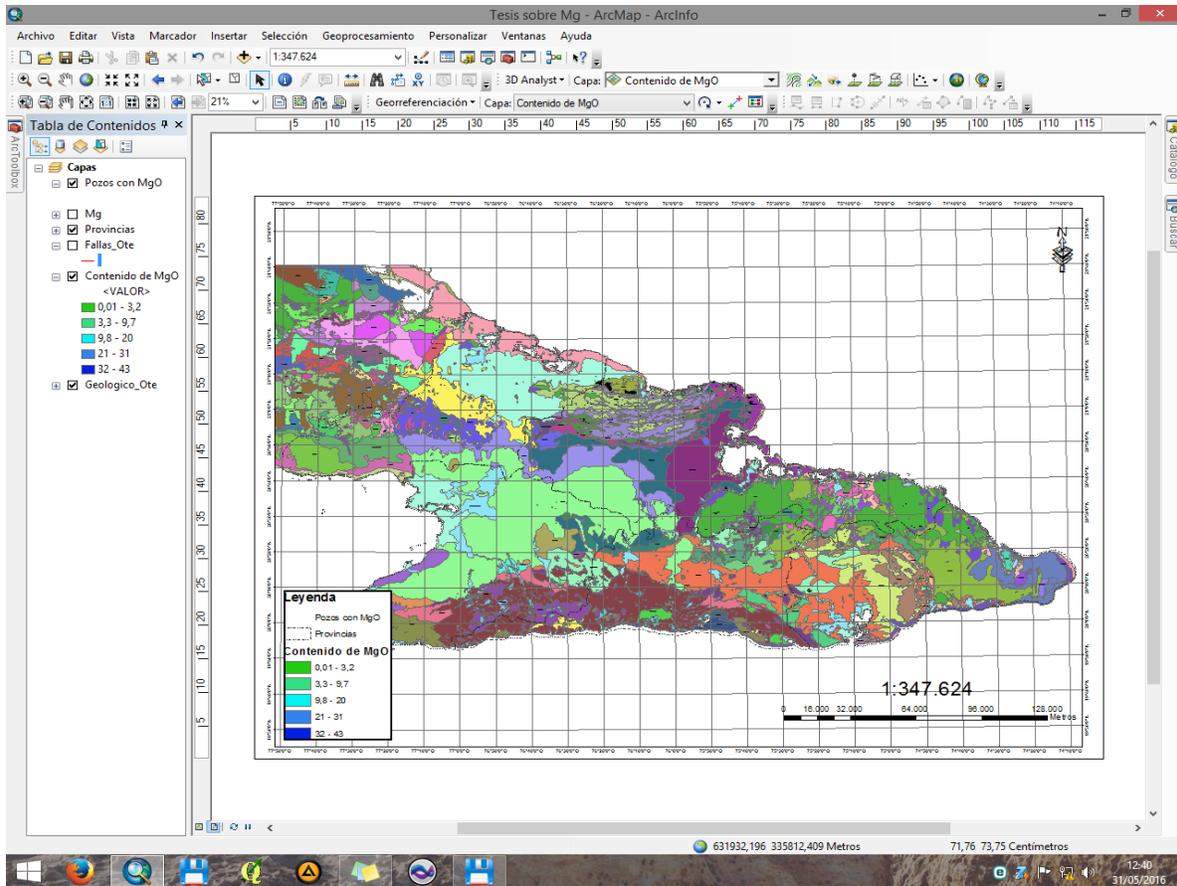


Figura 16. Software (ArcMap) especializado en realización de mapas.

Este mapa general de las provincias se dividió en tres sectores (Auras, Sur de Moa, Banes) que representaban las zonas con contenidos de magnesio más alto y se hicieron mapas independientes para lograr llegar a un mejor grado de detalles de estos.



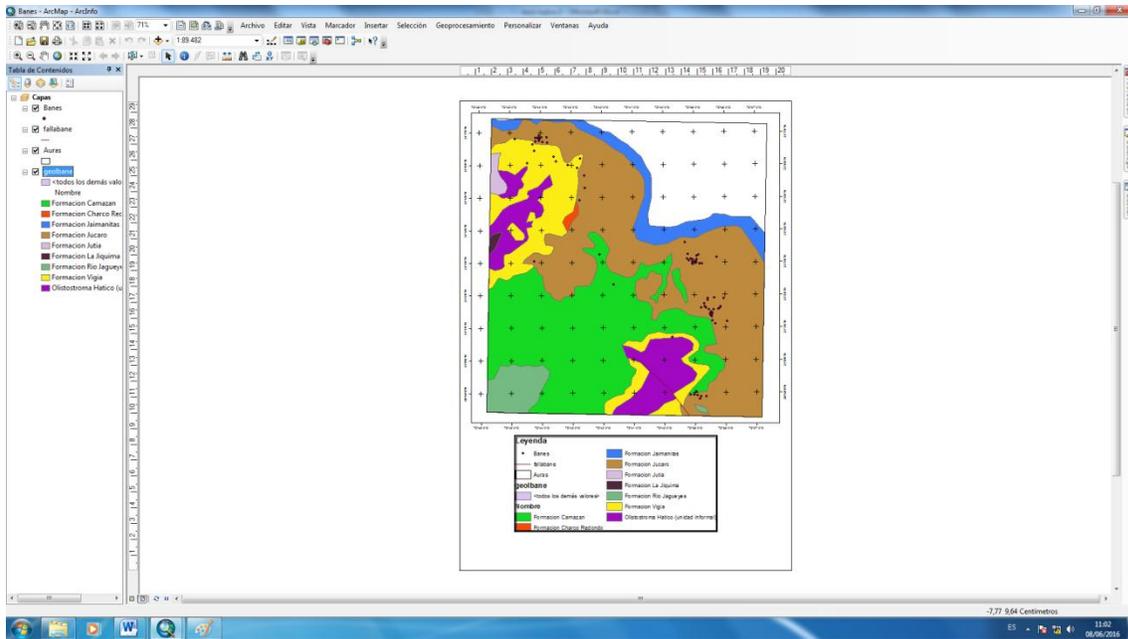


Figura 16.3. Software (ArcMap) utilizado para la realización del mapa de la zonade Banes.

### 2.3 Interpretación de los resultados.

En esta etapa se llevó a cabo la interpretación de los mapas de contenido de magnesio (Mg) realizados en los software especializados donde se establecieron tres sectores (Auras, Banes, Sur de Moa) que son los de mayor potencial de magnesio en la provincia de Holguín, además se interpretó los perfiles de comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad, y por último se realizó una comparación entre los tres sectores para llegar así a una caracterización detallada de los sectores más perspectivas.

## **CAPÍTULO 3: ESTUDIO DEL POTENCIAL DE MAGNESIO EN ROCAS ULTRABÁSICAS DE HOLGUÍN.**

### **Introducción**

El trabajo se realizó en diferentes lugares de la provincia de Holguín, por lo que las litologías presentes son diversas, pero teniendo en cuenta esta razón se demuestra mediante una serie de estudio (descripción y comparación litológica entre sectores, análisis petrográfico de las muestras, interpretación de los perfiles en profundidad de la variación de concentración de sílice y magnesio) que las rocas ultrabásicas son las de mayor potencial de magnesio entre las litologías analizadas.

Para llevar a cabo la descripción de los sectores escogidos se tuvieron en cuenta criterios tales como la litología predominante en el basamento, la morfología y dinámica de los procesos erosivos y meteóricos sobre las rocas y las estructuras disyuntivas que afectan a las rocas.

En los sectores las litologías principales que guardan relación con la mineralización son: serpentinitas, gabros-diabasas, calizas y areniscas principalmente, las mismas presentan una disposición muy variada entre ellas predominando la presencia de las areniscas y calizas por encima de los gabros-diabasas y serpentinitas que se encuentra más abajo.

### **3.1 Mineralogía del olivino.**

El mineral o paragénesis mineral portador del magnesio en las dunitas es el olivino  $(Mg, Fe)_2 SiO_2$  principalmente en la forsterita, que forma una serie isomorfa con la fayalita más enriquecida en hierro. Además este grupo de mineral presenta un color gris claro a transparente, dureza 7 en la escala de Mohs. Por tanto entre más enriquecida se encuentre la dunita en olivino (forsterita) mayor será la probabilidad de que se encuentren altos contenidos de magnesio (MgO).

### 3.2 Descripción de los sectores escogidos.

#### Sector Auras

El sector Auras se encuentra localizado en el límite de la provincia de Holguín y la provincia de Tunas, además está representado por una geología muy complicada, con presencia de diversas fallas y litologías variadas que presentan una disposición muy complicada entre ellas, desde el punto de vista estratigráfico el sector está representado por las formaciones (Arrollo Blanco, Gibara, Embarcadero, Iberia, Puerto Padre, entre otras). Los valores de concentración de magnesio (MgO) fueron por debajo del 35 %, llegando a alcanzar como valor máximo un 33 % en algunos pozos donde llegaron a ser más profundas las perforaciones o llegaban a cortar las rocas ultrabásicas (Ver figura. 17).

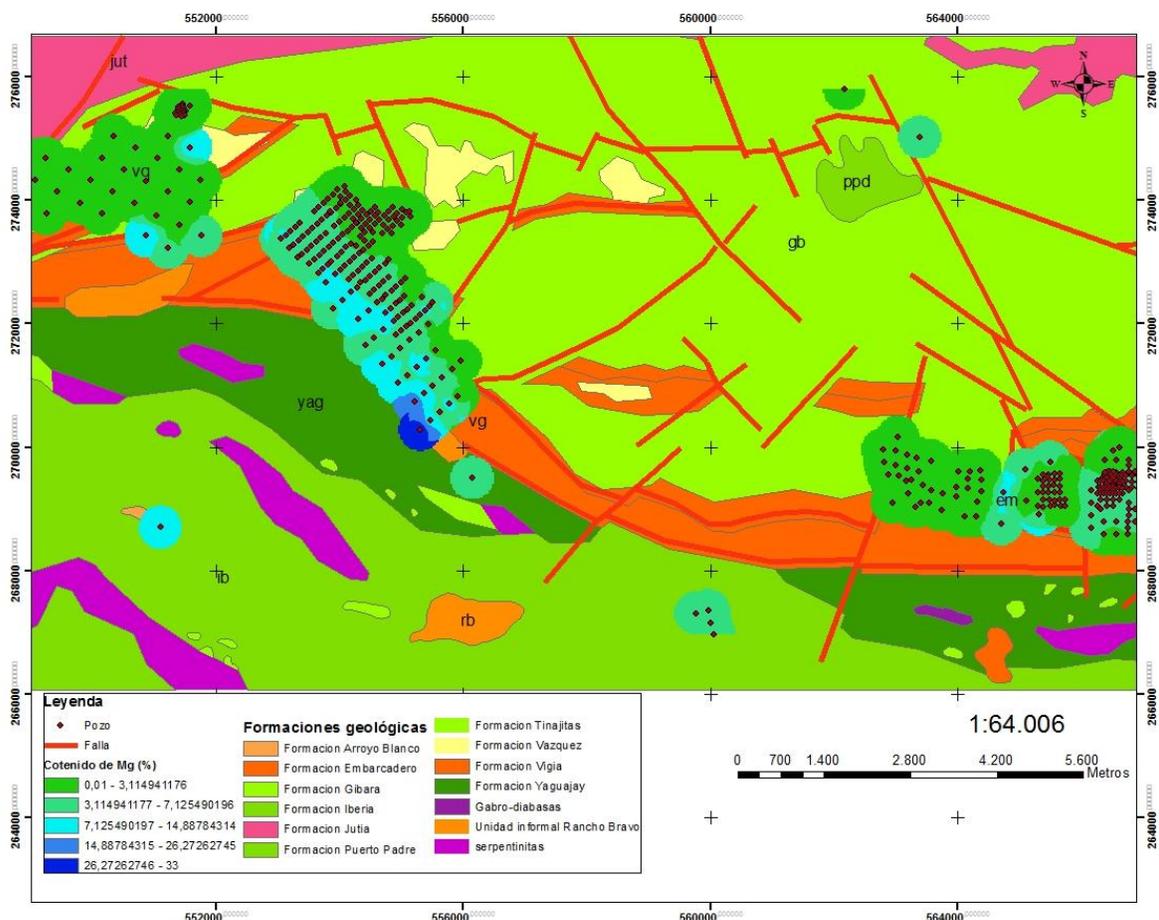


Figura 17. Mapa del sector Auras

## Sector de Banes

El sector de Banes presenta una litología bastante variada con presencia de calizas y areniscas principalmente con una disposición muy variada entre ellas, la geología del área es muy complicada con presencia de varias fallas y desde el punto de vista estratigráfico presenta varias formaciones entre las que se puede mencionar (Vigía, Jutía, Charco Redondo, Jaimanitas, Júcaro, entre otras.), las perforaciones realizadas cortaron estas litologías arrojando contenidos de magnesio(MgO) bajos representado por valores de 0.35 % hasta los 17 % como valor máximo, como se muestra en el mapa (Ver figura 18.).

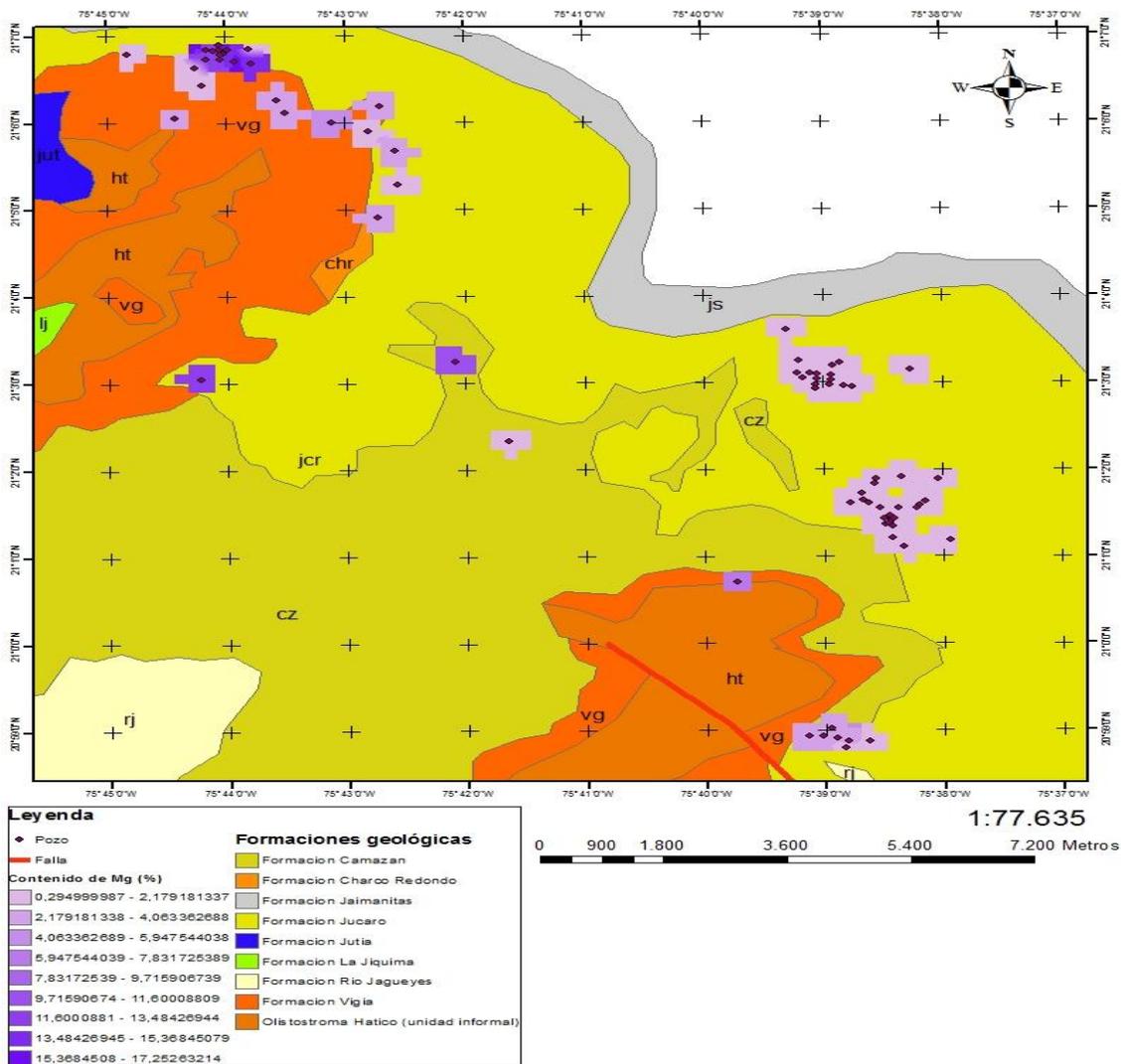


Figura 18. Mapa del sector Banes.

## Sector Sur de Moa

En el sector Sur de Moa la litología presente son: gabros y serpentinita principalmente con una disposición variada entre ellas, además se encuentra presente la formación Bucey, desde el punto de vista tectónico en el sector se encuentra la falla Moa. Las perforaciones realizadas cortaron estas litologías propiciando que los contenidos de magnesio (MgO) varían entre los 16 % y 35 % como valor más alto representado con el color azul como se muestra en el mapa (Ver figura 19.).

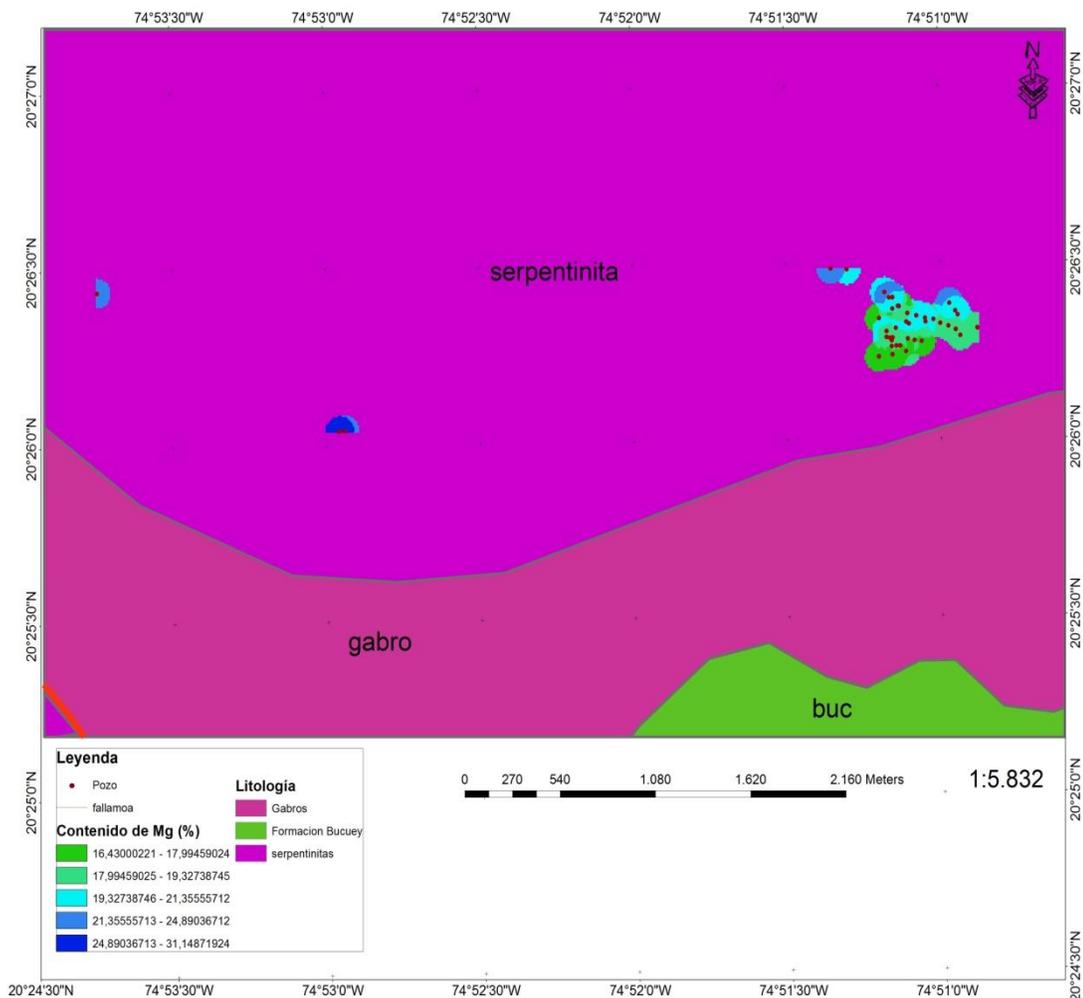


Figura 19. Mapa del sector Sur de Moa.

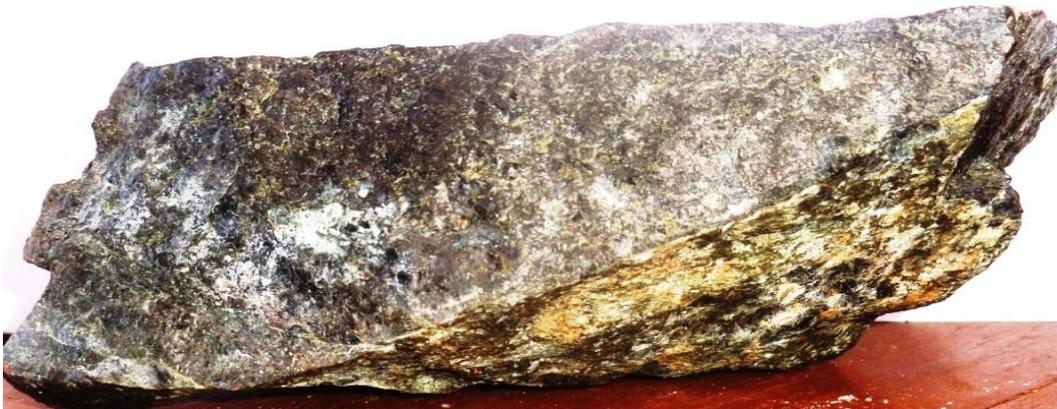
### 3.3 Caracterización macroscópica de las muestras de dunitas serpentinizadas del Sector Sur de Moa.

Se demostró que estas rocas desde el punto de vista macroscópico presentan una coloración verde en diferentes matices hasta negro verdusco, igualmente se encuentran constituidas por olivino serpentizado fundamentalmente desde un 15 % a un 95 % y sílice que puede alcanzar hasta un 44 %, su dureza varía de 2 a 4 en la escala de Mohs (Ver figura .20).

**Coordenadas de las muestras tomadas del sector Merceditas:**

**N 2043719 W07484581 h=378m**

a)



b)



c)



Figura. 20. Muestras de dunitas serpentinizadas del Sector Sur de Moa.

### **3.4 Petrografía de las muestras de dunitas del sector Sur de Moa.**

Se tomaron varias muestras de dunitas a las que al aplicársele análisis petrográficos dieron los siguientes resultados. Textura: reticular, fibrosa y porfiroblástica la presencia de la magnetita que se formó producto de la serpentización del olivino, y además escasos granos de ortopiroxenos, además se observan granos esqueléticos de cromita, fracturados, asociados a relictos pseudomorfoseados de ortopiroxeno, translúcidos y rojizos.

#### **Muestra 5: Dunita serpentizada**

**Coordenadas: N 2043719 W07484581 h=378m**

**Textura:** pseudomórfica

**Estructura:** Masiva

**Color:** verde oscuro

**Composición general:** relictos de olivino y piroxenos (ortopiroxeno y enstatita), minerales del grupo de la serpentina: antigorita y lizardita, minerales secundarios: carbonato, minerales de alteración: clorita (pennina) y talco.

#### **Descripción de detalle:**

La muestra presenta abundantes relictos de olivino, rodeado de cristales fibrosos de lizardita formando la típica textura mallada. Existen fibras que presentan colores de interferencia anómalos, azul Berlín, esto es característico de un tipo de clorita, pennina. Se observan además algunos cristales de piroxenos (ortopiroxenos, enstatita), los mismos se encuentran fracturados y entre las fracturas se encuentra la clorita. Hay presencia de una variedad de pennina la cual es un mineral de Cr, Kammanita, ésta se encuentra bordeando los granos esqueléticos de cromita. Aparecen también minerales fibrosos muy finos con altos

colores de interferencia que corresponden al mineral talco, y otros de baja birrefringencia, antigorita, así como vetillas rellenas de carbonato (Ver figura .21).

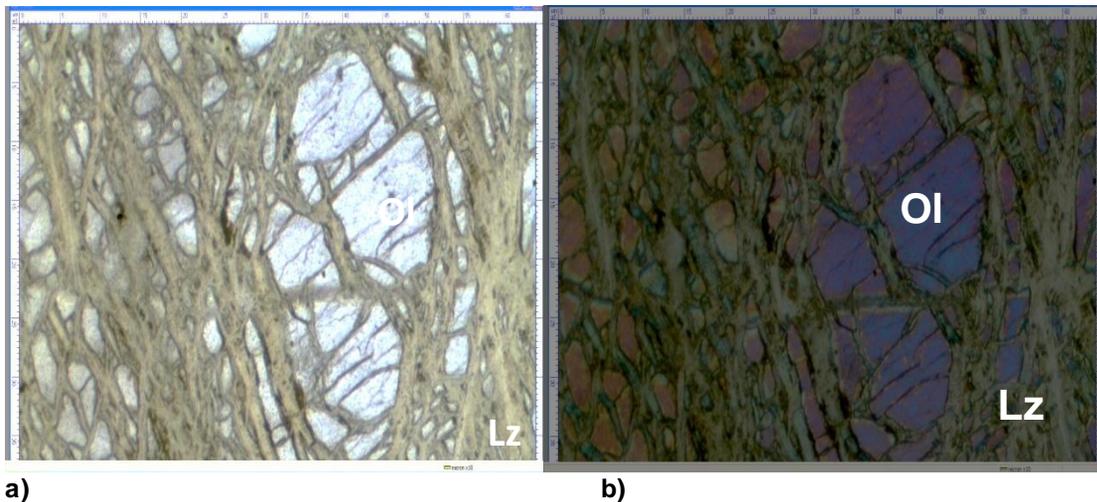


Figura .21. **a)** Microfotografía con nicoles //, objetivo 2.5x: Aparecen abundantes relictos de olivino rodeados de lizardita de color verde. Hay además algunos cristales de piroxenos, los cuales están fracturados y entre las fracturas hay clorita (mineral de alteración). Bordeando los granos esqueléticos de cromita hay una variedad de pennina. **b)** Microfotografía con nicoles x, objetivo 2.5x: Aparecen abundantes relictos de olivino rodeados de lizardita, algunas fibras presentan colores de interferencia anómalos, azul berlín, esto es característico de un tipo de clorita, pennina. Hay además algunos cristales de piroxenos, los cuales están fracturados y entre las fracturas hay clorita (mineral de alteración). Bordeando los granos esqueléticos de cromita hay una variedad de pennina. Existen también minerales fibrosos muy finos con altos colores de interferencia que corresponden al mineral talco, y otros de baja birrefringencia, antigorita, así como betilla rellenas de carbonato.

### **Muestra 6: Dunita serpentizada.**

**Coordenadas: N 2043719 W07484581 h=378m**

**Textura:** pseudomórfica

**Estructura:** Masiva

**Color:** verde oscuro

**Composición general:** abundantes relictos de olivino y algunos relictos de piroxenos, minerales del grupo de la serpentina: antigorita y lizardita, minerales secundarios: hematita y magnetita.

**Descripción de detalle:**

En la muestra se observan relictos de cristales de olivino, con elevados colores de interferencia, los mismos están rodeados por minerales del grupo de la serpentina, lizardita, que se dispone en forma de malla, formando la típica textura mallada. Se presentan además grandes cristales de piroxenos (clinopiroxenos que han sufrido al igual que los cristales de olivino procesos de serpentinización). Se observa proceso de hematitización y algunos granos isótopos e irregulares de magnetita. La textura es pseudomórfica (relictica) (Ver figura .22).

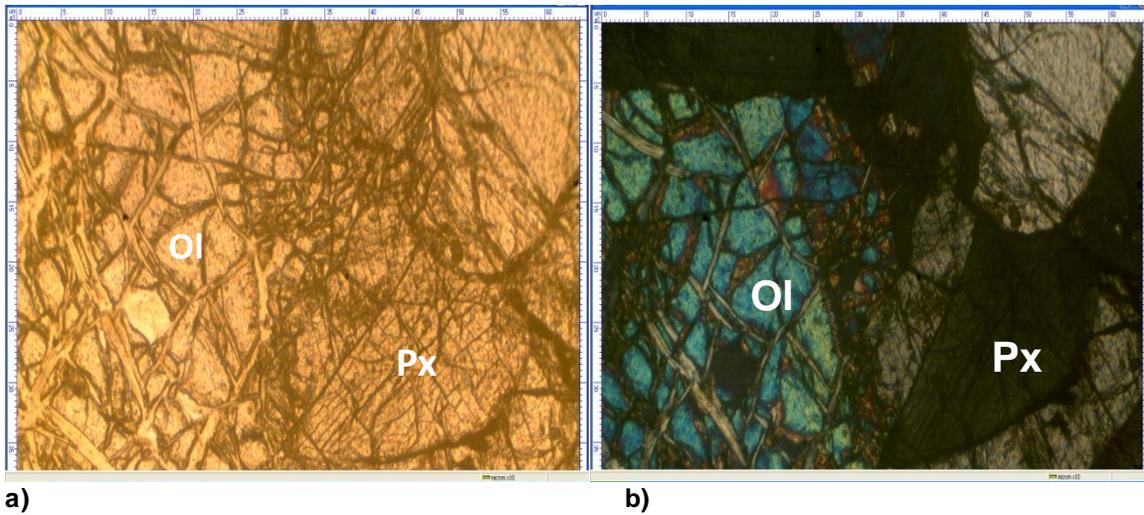


Figura .22. **a)** Microfotografía con nicoles //, objetivo 4x: Se observan cristales de olivino rodeados por minerales del grupo de la serpentina, estos últimos dando una textura de red o malla a la roca. Piroxenos en ocasiones bastitizados y con clivaje en dos direcciones. **b)** Microfotografía con nicoles //, objetivo 4x: Se observa olivino con su alta birrefringencia característica de color azul rodeado de los minerales del grupo de la serpentina. Cristales de piroxenos bastitizados.

## **Muestra 7: Dunita serpentizada**

**Coordenadas:** N 2043719 W07484581 h=378m

**Textura:** pseudomórfica

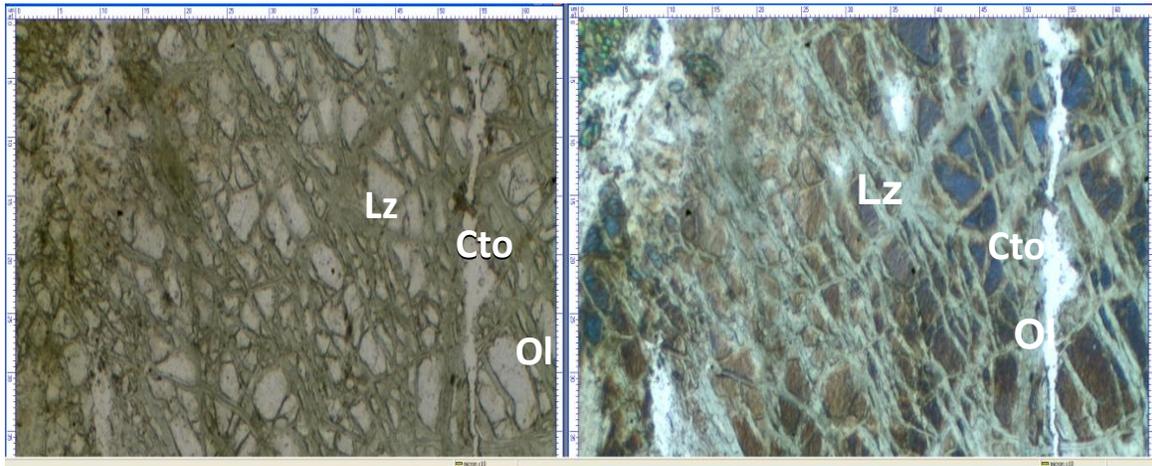
**Estructura:** masiva

**Color:** verde oscuro

**Composición general:** abundantes relictos de olivino y piroxenos, minerales del grupo de la serpentina: antigorita y lizardita, minerales secundarios: carbonato, minerales de alteración: bastita.

### **Descripción de detalle:**

En la muestra abundan los relictos de olivino que pueden alcanzar más de 2,5 mm, o sea la muestra presenta una granulometría gruesa, los mismos están rodeados de lizardita, mineral del grupo de la serpentina, de color verde, formando una típica textura mallada. Se observan algunos cristales de piroxenos, bastitizados, así como minerales del grupo de la serpentina como antigorita. Se observa además vetillas rellenas de carbonato, que llegan a tener un grosor de 0,33 mm, las mismas pertenecen a un proceso posterior a la serpentización y la formación de antigorita (Ver figura .23).



**a)**

**b)**

Figura .23. **a)** Microfotografía con nicoles //, objetivo 2.5x: Se observan relictos de olivino rodeados de minerales del grupo de la serpentina lizardita de color verde que forma una textura mallada. Se observan además vetilla rellena de carbonato. **b)** Microfotografía con nicoles x, objetivo 2.5x: Se observan relictos de olivino con altos colores de interferencia, rodeados de minerales del grupo de la serpentina lizardita de color verde que forma una textura mallada. Se observan además vetilla rellena de carbonato.

### **Muestra 8: Dunita serpentizada**

**Coordenadas: N 2043719 W07484581 h=378m**

**Textura:** pseudomórfica

**Estructura:** Masiva

**Color:** verde oscuro

**Composición general:** relictos de olivino y piroxenos (ortopiroxeno), minerales del grupo de la serpentina: antigorita y lizardita, minerales secundarios: carbonato.

### Descripción de detalle:

La muestra presenta relictos de olivino, rodeado de cristales fibrosos de lizardita, formando la típica textura mallada. Se observan además algunos cristales de piroxenos (ortopiroxenos, enstatita), los mismos se encuentran fracturados y entre las fracturas hay lizardita. Aparecen también minerales fibrosos muy finos de baja birrefringencia, antigorita, así como vetillas rellenas de carbonato. (Ver figura .24)

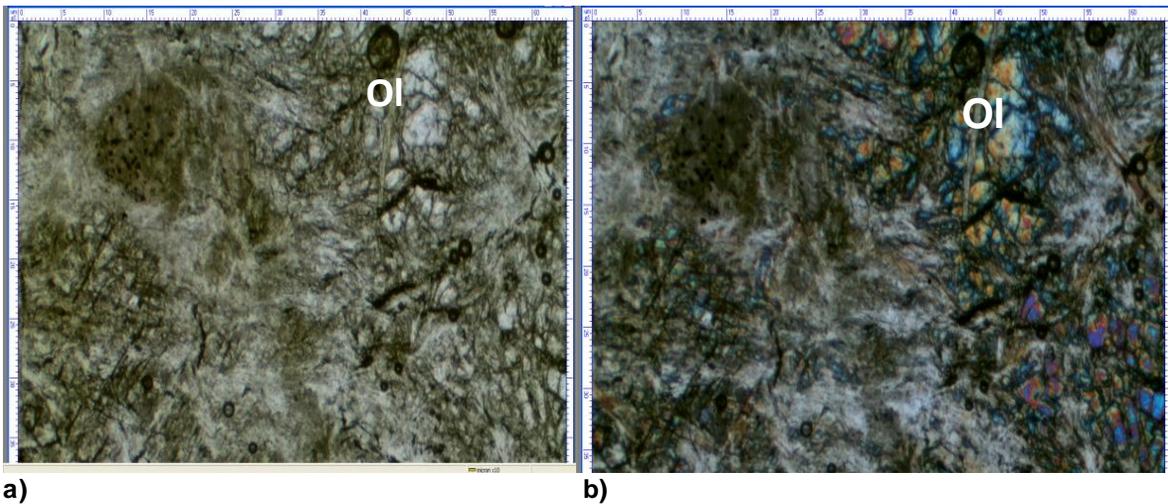


Figura .24. **a)** Microfotografía con nicoles //, objetivo 2.5x: Se observan relictos de olivino rodeado de cristales fibrosos de lizardita, formando una textura mallada. También se observan cristales de piroxenos fracturados y entre las fracturas hay lizardita. **b)** Microfotografía con nicoles x, objetivo 2.5x: Se observan relictos de olivino rodeado de cristales fibrosos de lizardita, formando una textura mallada. También se observan cristales de piroxenos fracturados y entre las fracturas hay lizardita.

### 3.5 Interpretación de los análisis de fluorescencia de rayos-X

Se realizaron análisis geoquímico a las muestras correspondiente a dunitas, por los análisis de fluorescencia de rayos-X realizados al total de muestras, se obtuvieron los datos de porcentajes en óxidos del contenido de elementos mayores presentes en las mismas (Ver tabla .3).

**Tabla 3.** Contenido expresado en por ciento en peso para los óxidos de los elementos mayores en las muestras de rocas seleccionadas.

No	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
5	46,8	0,81	3,79	0,14	47,46	0,71	0,06	0,06	0,02	0,05
6	47,6	0,85	5,44	0,13	45,58	0,23	0,06	0,06	0,02	0,02
7	46,9	0,88	4,62	0,14	47,05	0,23	0,06	0,06	0,02	0,02
8	45,6	0,70	5,66	0,14	47,55	0,16	0,06	0,06	0,02	0,02

### 3.6 Consideraciones del quimismo de las rocas en base a los óxidos principales:

Todas las muestras que se exponen en la tabla 3 corresponden a dunitas serpentinizadas, a continuación se hace una descripción a partir de los elementos que se analizaron:

**SiO<sub>2</sub>.** El comportamiento de la sílice es variado como se observa en la tabla 3 con valores que van desde los 45 % hasta los 47 % representado por la muestra 6.

**MgO.** El comportamiento del magnesio es variado como se muestra en la tabla 3 representado por valores que van desde los 45 % hasta los 47 % que pertenece a la muestra 8.

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.** El comportamiento del hierro Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es muy variado como se muestra en la tabla 3 con valores que van desde los 3 % hasta los 5 % que pertenece a la muestra 6.

### 3.7 Comparación entre los sectores analizados.

Los sectores analizados presentan diferentes características geológicas, litologías y tectónica. Desde el punto de vista de los contenidos de magnesio (MgO) el sector Banes presenta un 16 % como valor máximo donde las perforaciones fueron realizadas sobre calizas y areniscas principalmente, por otro lado el sector de auras presenta como valor máximo un 33 % pero las perforaciones realizadas cortaron calizas, areniscas principalmente y serpentinitas donde las perforaciones fueron más profunda por tanto estos valores se deben a los pozos donde se cortó estas litologías ultrabásicas, pero el valor más alto lo presenta el sector Sur de

Moa con un 35% como valor máximo y donde las perforaciones fueron realizadas en serpentinitas principalmente, esto demuestra de que las rocas ultrabásicas son las más propicias como fuentes potenciales de magnesio en la provincia de Holguín (Ver figura.25).

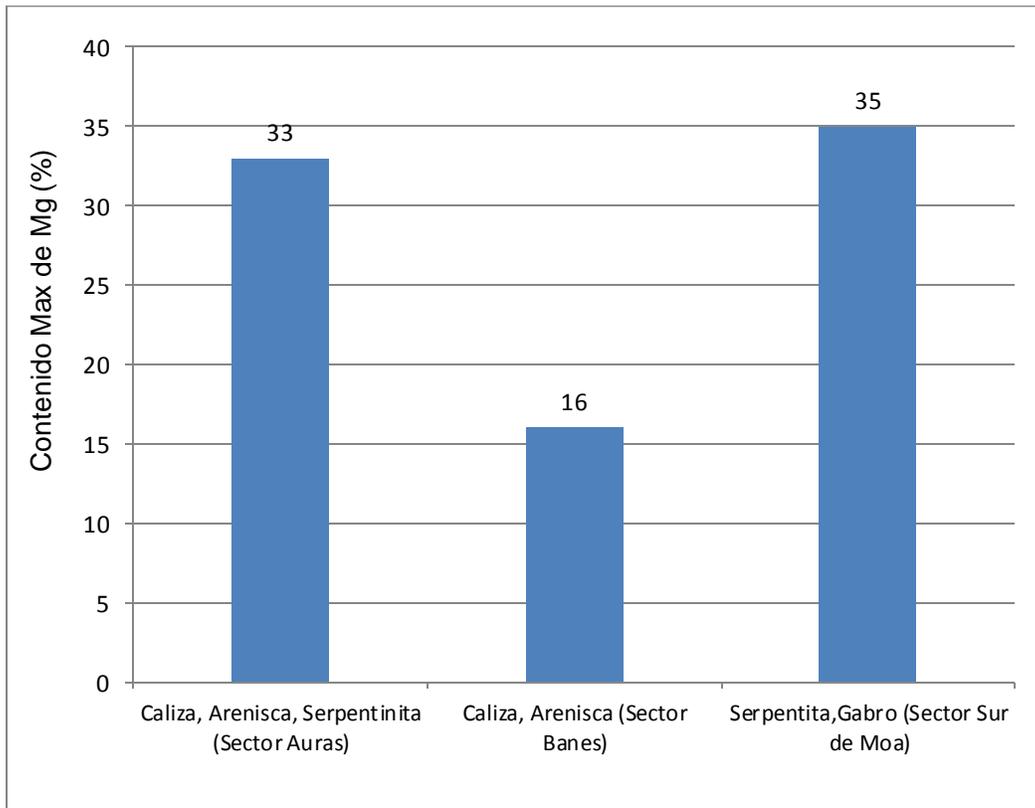


Figura 25. Gráfico de comparación de concentración de magnesio y litologías de los sectores escogidos.

### 3.8 Interpretación del perfil en profundidad de la variación de la concentración de magnesio (MgO) y Sílice SiO<sub>2</sub> (Ver figura .26).

Se realizó el perfil tomando como referencia el pozo 3p el cual tiene una profundidad de 8m y se encuentra ubicado en el sector Sur de Moa, proyectando los siguientes resultados:

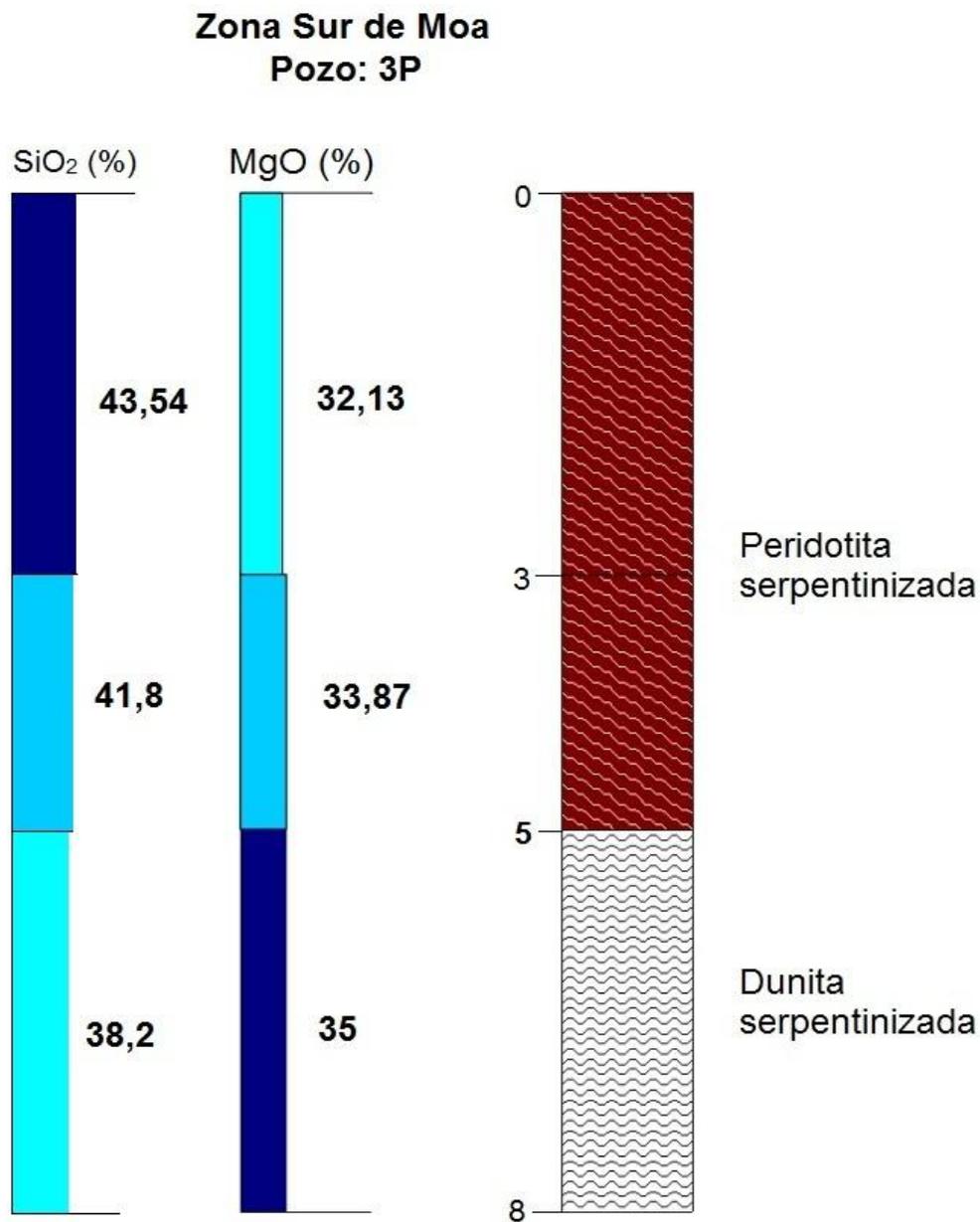


Figura 26. Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y perfil geológico, pozo 3P.

Como se demostró en la tabla las dunitas serpentinizadas son las rocas con menor % de sílice y que mayor % de óxido magnesio ostentan, demostrándose de esta forma su gran potencial como fuente de magnesio (Ver tabla .4).

**Tabla .4** Comparación de las dunitas y peridotitas serpentinizadas en profundidad.

Litologías	Profundidad (m)	Sílice (%)	Oxido de magnesio (%)
Peridotitas serpentinizadas	0-3	43.54	32.13
Peridotitas serpentinizadas	3-5	41.8	33.87
Dunitas serpentinizadas	5-8	38.2	35

**Conclusiones:**

1. Se realizó la confección de los mapas de iso-contenido de magnesio definiéndose tres sectores potenciales (Auras, Banes, Sur de Moa).
2. Las concentraciones más importantes de magnesio se localizan en el sector Sur de Moa con valores de 35 % como valor máximo siendo este el sector más prospectivo como fuente de magnesio.
3. Las rocas presentes en el pozo 3P son peridotitas y dunitas serpentinizadas, en las cuales las dunitas son las rocas con mayores perspectivas como fuente de óxido de magnesio.
4. Se demuestra que las dunitas constituyen fuentes de magnesio, sustentado en los análisis petrográficos y la de fluorescencia de rayos X.

**Recomendaciones:**

1. Continuar desarrollando los estudios de la búsqueda de magnesio en las rocas ultrabásicas para lograr una mayor profundización en este tema.
2. En caso de realizar próximas campañas de perforación desarrollar nuevos análisis químicos de las zonas donde encuentren este tipo de litologías en la provincia.
3. Aumentar este estudio hacia la zona de Merceditas y Estrella de Mayarí en donde se tiene referencia de la existencia de litologías ultrabásicas que pueden ser fuentes de magnesio (MgO).

## Bibliografía:

- Adamovich A.; Chejovich. 1962: Principales características de la geología y minerales útiles de la región norte de la provincia de oriente. Revista Tecnológica. Universidad de Oriente.
- 1963. Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente. Informe, ONRM.
- Almaguer, A. 1995: Cortezas de intemperismo: algunas características de sus partículas finas. Minería y Geología XII (1): 9-19.
- Álvarez, C;Criado, E;Baudin, C. 1992. Refractarios de magnesia-grafito. Disponible en: <http://boletines.secv.es/upload/199231397.pdf>
- Amigó, Vicente (2007): Estado del arte de las aleaciones ligeras y sus aplicaciones. Disponible en: <http://observatorio.aimme.es>
- Argis y et al, 2012.Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 12(2)255 m Disponible en:  
<http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/35/371>
- Alonzo Daniel, 2013: Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.
- Burch, A. and Burchard, E. F. 1919: Chrome and manganese ore in Cuba: Dirección de Montes y Minas. Boletín de Minas, no.5, pp.57-70.
- Chorr, J. (2010): Cloruro de Magnesio. Conferencia. Disponible en:  
[http://www.bibliotecapleyades.net/salud/salud\\_magnesio04.htm](http://www.bibliotecapleyades.net/salud/salud_magnesio04.htm)
- Cobiella, J. L. 1978: Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM.
- Danzer, W. 2004: Procedimiento para mejorar la capacidad de soldadura de aleaciones de magnesio. Disponible en:  
[http://www.espatentes.com/pdf/2211437\\_t3.pdf](http://www.espatentes.com/pdf/2211437_t3.pdf)
- Díaz, P. 2014. Procedimiento de obtención de óxido e hidróxido de magnesio de alta pureza a partir de dunitas. Disponible en:  
<http://patentados.com/patente/procedimiento-obtencion-oxido-e-hidroxido-magnesio-alta/>

- Dublan, L., et al. 1985: Informe final del levantamiento geológico y evaluación de los minerales útiles a escala 1:50,000 del polígono CAME, Zona Centro. Archivo ONRM, C. Habana.
- Formell F.; Oro A.: Sobre los procesos de redeposición del yacimiento Punta Gorda. Ciencia de la Tierra y el Espacio. No.2. 1980
- Heredia, M., y Terepin, A. 1984: Estudio comparativo de los complejos mafíticos-ultamafíticos de la provincia de Pinar del Río y los macizos Mayarí y Moa-Baracoa. Serie Geológica, 3, 55-100.
- Hernández ,2015. Disolución del magnesio de las menas de Magnesita Redención con ácido carbónico.  
 Disponible en: <http://www.cipimm.co.cu/revista-info/descargas/1-2015/4-ARTICULO%203%20pp.23-34.pdf>
- Hipedinger, N. E. 2007: Liga química magnesia-fosfato. Desarrollo y aplicación en cementos y hormigones refractarios. Tesis presentada para el grado de Doctor en Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata.
- Iturralde M. A. 1990. Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. Ciencias de la tierra y el espacio, No.17, 1990.
- Iturralde-Vinent, M. A. 1998: Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispana, 33(1-4): 9-56.
- Lavandero, R. M.; González, E. M. 2011: Propuesta de fabricación en Cuba de materiales de construcción no tradicionales, con énfasis en la producción de cementos especiales. Ponencia presentada en la IV Convención de Ciencias de la Tierra, Geociencias 2011.
- Lavaut W. 1987: Clasificador para modelación litológica de lateritas Key – Guide for lithological mapping of laterites.
- Leyva, C; La Rosa. 2006: Perspectivas de utilización como refractarios de las ultrabasitas asociadas a la mineralización cromífera de la provincia Camagüey.
- Muñoz, J.N. 2004: Geología y Mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co.PDF-Files. ICT. ISMMM, 22p.

- Muñoz, J.N. et al. 2007: Caracterización de los dominios geológicos en las concesiones mineras Camarioca Norte y Camarioca Sur. Inédito. Empresa Moa Níquel S.A. PSA.
- Nagy E. y otros. 1976: Informe de los trabajos de levantamiento geológico para el mapa en escala 1: 250 000 del territorio de la antigua provincia de Oriente. ACC.
- Ollier, C. D. 1975. Coral island geomorphology—the Trobriand Islands. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 19, 164-190.
- Pazanin, M. A. 2002: Obtención de concentrados de óxido e magnesio, a partir de magnesita proveniente del área Cerrito Blanco en Tinaquillo, estado Cojedes. Tesis de grado en Título de Ingeniero de Minas. Universidad Central de Venezuela.
- Pérez C.F.y et al.2000: Reciclado de virutas de magnesio. Ponencia presentada en el IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga.
- Pérez R. 1976: Levantamiento Geológico de Farallones escala 1: 50 000.
- Pérez Y. 2013: Comportamiento Geoquímico de los componentes principales y nocivos del Yacimiento Zona Septentrional. Tesis de diploma.
- Pons, J. A; Ramírez, M. C. y Leyva, C. A. 2011: Fundamentos científicos para la utilización de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa.
- Pons; y et. al. 2011: Perspectivas de Cuba en la producción de materiales refractarios básicos. Ponencia presentada en la IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias.
- Pérez, Hidalgo, 2011: Regionalización climática de la provincia Holguín, Norma climática 1981-2010 (Prensa).
- Quintas, F. 1989: Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, I.S.M.M.
- Rodas, M; Fernández, J. s/a.: Minerales utilizados en agricultura. Disponible en: [www.ehu.eus/sem/seminario\\_pdf/SEMINARIO\\_SEM\\_2\\_075.pdf](http://www.ehu.eus/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_075.pdf)
- Rojas-Purón, A. L. 1994. Principales fases minerales portadoras de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa (Doctoral dissertation, Tesis

presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Geológicas. ISMM, Moa: 94p).

- Rosell Amigo, J. R. (2007). Estudio de nuevas formulaciones de cemento Sorel. Ingeniería Química, (446), 114-129.
- Sitnikov, V, 1976: Informe sobre la exploración orientativa del yacimiento Camarioca con el cálculo de reservas. ONRM. La Habana, Cuba.
- Smirnov V.I. 1982: Geología de los Yacimientos Minerales. Ed. Mir. Moscú. 654 p.
- Valdés, Y. 2015: Caracterización petrológica y geoquímica de las rocas metamórficas, sector Camarioca Sur. Tesis de Maestría.

## **Anexos**

### **Anexo 1:**

#### **Procedimiento de obtención de óxido e hidróxido de magnesio de alta pureza a partir de dunitas.**

##### **Patente de Invención. Resumen:**

La presente invención se refiere a un procedimiento de obtención de compuestos de magnesio de alta pureza, como son el óxido y el hidróxido de magnesio, y otros subproductos metálicos valiosos a partir de dunitas.

**Solicitante:** Pasek Minerales, S.A.U.

Nacionalidad solicitante: España.

**Inventor/es:** Díaz García,Pamela, Caballero Carlón,Roberto, Cuervo-Arango Pire,Pablo.

**Fecha de Publicación de la Concesión:** 27 de Marzo de 2014.

**Clasificación Internacional de Patentes:** C01F5/14 (.Hidróxido de magnesio), C01F5/02 (.Magnesia).

**Descripción:**

La presente invención se refiere a un procedimiento de obtención de compuestos de magnesio de alta pureza, como son el óxido y el hidróxido de magnesio, y otros subproductos metálicos valiosos, a partir de dunitas. Por tanto, la invención se podría encuadrar en el área de la minería.

## Descripción Detallada de la Invención

Los inventores han encontrado un procedimiento sencillo para la obtención de MgO y Mg (OH) 2 de alta pureza a partir de dunitas. Con este procedimiento también se obtienen subproductos metálicos valiosos, como son SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO y MnO.

Las dunitas son silicatos de magnesio natural. Pertenecen al grupo de rocas ultramáficas cuya clasificación petrológica es de hazburgitas y dunitas, parcialmente serpentinizadas, las cuales están disponibles en gran cantidad en diversas localizaciones a nivel mundial. La composición típica de este tipo de rocas es de 32-36% MgO, 38-40% SiO<sub>2</sub>, 7-9% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 2-4% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y su grado de serpentización varía entre el 15% y el 75%. Debido al grado de serpentización, las dunitas son fácilmente solubles en medio ácido.

Dicho procedimiento evita la formación de geles de sílice y además opera de manera continua. De esta forma, el procedimiento tiene considerables ahorros energéticos sobre los métodos más convencionales de generación de MgO a partir de salmueras de MgCl<sub>2</sub>.

Por tanto, en un primer aspecto, la presente invención se refiere al procedimiento de obtención de óxido e hidróxido de magnesio de una pureza de al menos un 97% a partir de dunitas, caracterizado porque comprende las siguientes etapas:

- a) moler la dunita,
- b) tratar la dunita obtenida en la etapa anterior con al menos un ácido, c) extraer el producto insoluble formado en la etapa anterior, d) neutralizar la salmuera obtenida en la etapa anterior con al menos una base, e) extraer el precipitado obtenido en la etapa anterior, f) descomponer térmicamente la salmuera obtenida en la etapa anterior, g) hidrolizar el producto obtenido en la etapa anterior.

## Reivindicaciones:

1. Procedimiento de obtención de óxido e hidróxido de magnesio de una pureza de al menos un 97% a partir de dunitas, que comprende las siguientes etapas:

a) Moler la dunita, b) tratar la dunita obtenida en la etapa anterior con al menos un ácido, c) extraer el producto insoluble formado en la etapa anterior, d) neutralizar la salmuera obtenida en la etapa anterior con al menos una base, e) extraer el precipitado obtenido en la etapa anterior, f) descomponer térmicamente la salmuera obtenida en la etapa anterior, g) hidrolizar el producto obtenido en la etapa anterior.

2. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la dunita obtenida en la etapa a) tiene un tamaño de partícula de 10 a 500 micras.

3. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la dunita obtenida en la etapa a) tiene un tamaño de partícula de 50 a 200 micras.

4. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el ácido de la etapa b) se selecciona de la lista que comprende HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y HNO<sub>3</sub>.

5. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el ácido de la etapa b) se ha obtenido en la etapa f) .

6. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde del ácido de la etapa b) se encuentra en una concentración de entre 10 y 30% en peso.

7. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde del ácido de la etapa b) se encuentra en una concentración de entre 15 y 25% en peso.

8. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el producto en la etapa b) se encuentra a un pH de entre 0 y 2.

9. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa b) se lleva a cabo a una temperatura comprendida entre 20 y 200°C.
10. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la etapa b) se lleva a cabo a una temperatura comprendida entre 50 y 150°C.
11. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa b) dura entre 5 y 150 minutos.
12. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la etapa b) dura entre 10 y 100 minutos.
13. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la extracción de la etapa c) se selecciona de la lista de métodos de extracción que comprende decantación, filtración, tamización, flotación y cristalización.
14. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la extracción de la etapa c) es una filtración a vacío.
15. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la extracción de la etapa c) se lleva a cabo en al menos 10 minutos.
16. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la base de la etapa d) se selecciona de la lista que comprende MgO, NaOH, dunita cruda y dunita calcinada.
17. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la base de la etapa d) se ha obtenido en la etapa f).
18. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa b) se lleva a cabo en presencia de un agente oxidante.

19. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde el agente oxidante de la etapa d) se selecciona de la lista que comprende cloro, peróxido de hidrógeno, oxígeno y aire.

20. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el pH en la etapa d) se mantiene entre los valores de 1 a 8.

21. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde el pH en la etapa d) se mantiene entre los valores de 4 a 7.

22. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa d) se realiza a una temperatura entre 20 y 200°C.

23. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la etapa d) se realiza a una temperatura entre 30 y 150°C.

24. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa d) se lleva a cabo en 5 a 120 minutos.

25. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la etapa d) se lleva a cabo en 10 a 60 minutos.

26. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la extracción de la etapa e) se selecciona de la lista de métodos de extracción que comprende decantación, filtración, tamización, flotación y cristalización.

27. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la etapa e) es una filtración a vacío.

28. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa e) se lleva a cabo en al menos 10 minutos.

29. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa f) se lleva a cabo a una temperatura de entre 200 y 3000 °C.

30. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la etapa f) se lleva a cabo a una temperatura de entre 300 y 2500 °C.

31. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa f) se lleva a cabo en 5 a 150 minutos.

32. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la etapa f) se lleva a cabo en 45 a 90 minutos.

33. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa g) se lleva a cabo a una temperatura de entre 20 y 300 °C.

34. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la etapa g) se lleva a cabo a una temperatura de entre 30 y 250 °C.

35. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa g) se lleva a cabo en 5 a 240 minutos.

36. Procedimiento, según la reivindicación anterior, donde la etapa g) se lleva a cabo en 20 a 90 minutos.