



**UNIVERSIDAD DE MOA**  
**"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"**

**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo

# **Título: Regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera en la región de Moa**

Autor: Pedro Manuel Nkanga Lufuankenda

Tutores: Dr. C. Alain Carballo Peña

Dr. C. José Nicolás Muñoz Gómez

Ing. Alfredo Yordanis Johnson Santiago

**Moa, 2019**



## **Pensamientos**

*Lo que sabemos es una gota, lo que ignoramos es un inmenso océano. La admirable disposición y armonía del universo, no ha podido sino salir del plan de un ser omnisciente y omnipotente.*

Isaac Newton

*Me volví y vi debajo del sol, que ni es de los ligeros la carrera, ni la guerra de los fuertes, ni aun de los sabios el pan, ni de los prudentes las riquezas, ni de los elocuentes el favor; sino que tiempo y ocasión acontecen a todos.*

Eclesiastés 9:11

## **Dedicatoria**

*A mis padres Manuel Lufuankenda y Luisa Nkanga Lufuankenda, gracias a sus instrucciones y enseñanzas me he dedicado a los estudios, y se han sacrificado mucho para que llegara ese momento, ellos son parte de todo.*

*A mis hermanos queridos, Jorge B, Ernesto, Sadrak, Nguina, Jeremias, Garcia y Gesiel, mis cuñadas, mis sobrinos y mis primos.*

*A toda mi familia, mis amigos y a mi nación Angola.*

## **Agradecimientos**

*Agradezco primeramente al Maravilloso, Admirable, Consejero, Dios fuerte, Padre Eterno, Príncipe, mi Dios amado, todo lo que soy depende de Él, me ha permitido venir a Cuba y graduarme, gracias al Eterno.*

*A mi familia, por todo apoyo que me han dado y recursos, para que todo se hiciera posible.*

*A mis compañeros de aula, especialmente a los angolanos, los cuales durante más de 5 años hemos estado compartiendo, a Amarildo, Bruno, Dumila, Francisco y Rodríguez.*

*A los compañeros de cuarto y a los demás que compartimos los casi 6 años como son, Tomas, Elías, Marcos, Camilonga, Salvador.*

*A mis tutores Dr C. Alain Carballo Peña, Dr C. José Nicolás Muñoz Gómez e Ing. Alfredo Yordanis Johnson Santiago. A los profesores de la Universidad de Moa. A todos los compañeros que directa o indirecta contribuyeron para que esto se hiciera realidad, a todos los pastores, los hermanos y amigos de las iglesias en Moa, en especial al grupo universitario y todos mis amigos.*

**Resumen**

El presente trabajo de tesis se realizó con la finalidad de establecer las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera de la región de Moa con base a la información documental de los trabajos geológicos antecedentes y con ello contribuir al conocimiento del potencial minero en la región de Moa, con vista a la prospección, exploración y explotación de estos recursos minerales. La ubicación espacial de los depósitos cromíferos según el grado de perspectividad, se representó a través de mapas confeccionados en Surfer 14 en 2D y 3D, donde se puede analizar la relación genética de los depósitos minerales cromíticos con los complejos de rocas máficas y ultramáficas. Se analizó el sistema de metalotectos que favorecen la mineralización cromífera en el sector, lo que permitió realizar la delimitación de las áreas perspectivas para la mineralización cromífera en la región de Moa. Se reconocen en el área de estudio numerosos cuerpos de cromitas podiformes de tipo refractarias, la mineralización se localiza en la zona de transición (MTZ), vinculada a las rocas duníticas. Se determinaron veinticinco depósitos perspectivos, de ellos, sobresalen cuatro, considerados como muy perspectivos en la región de estudio.

**Palabras claves:** Cromititas podiformes, cromitas refractarias, mineralización cromífera, potencial mineral, zona de transición (MTZ).

**Abstract**

The present thesis work was carried out with the purpose of establishing the regularities of the spatial and genetic distribution of the chromiferous mineralization of the Moa region based on the documentary information of the previous geological works and with this contribute to the knowledge of the mining potential in the Moa region, with a view to prospecting, exploration and exploitation of these mineral resources. The spatial location of the chromiferous deposits according to the degree of perspectivity, was represented through maps made in Surfer 14 in 2D and 3D, where the genetic relationship of the chromitic mineral deposits with the complexes of mafic and ultramafic rocks can be analyzed. The system of metalotects favoring chromium mineralization in the sector was analyzed, which allowed us to delineate the prospective areas for chromiferous mineralization in the Moa region. Many bodies of refractory-type podiform chromites are recognized in the study area. The mineralization is located in the transition zone (MTZ), linked to the dunitic rocks. Twenty-five perspective deposits were determined, of which four stand out, considered to be very perspective in the study region.

**Keywords:** Chromitites podiformes, refractory chromites, chromiferous mineralization, mineral potential, transition zone (MTZ).

## ÍNDICE

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Pensamientos.....                                                                                | i   |
| Dedicatoria .....                                                                                | ii  |
| Agradecimientos.....                                                                             | iii |
| Resumen .....                                                                                    | iv  |
| Abstract .....                                                                                   | v   |
| INTRODUCCIÓN .....                                                                               | 1   |
| CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CARACTERÍSTICAS<br>GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO. .... | 1   |
| 1.1. Marco Teórico conceptual .....                                                              | 1   |
| 1.2. Marco teórico contextual .....                                                              | 3   |
| Características geoquímicas del cromo .....                                                      | 3   |
| Asociación Ofiolítica.....                                                                       | 4   |
| Mineralogía de las menas cromíticas.....                                                         | 6   |
| Composición química.....                                                                         | 6   |
| 1.3. Investigaciones precedentes.....                                                            | 7   |
| 1.4. Características físico-geográficas .....                                                    | 12  |
| 1.4.1. Ubicación del área de estudio .....                                                       | 12  |
| 1.4.2. Relieve .....                                                                             | 13  |
| 1.4.3. Clima .....                                                                               | 14  |
| 1.4.4. Vegetación .....                                                                          | 14  |
| 1.4.5. Economía .....                                                                            | 15  |
| 1.4.6. Hidrografía .....                                                                         | 16  |
| 1.4.7. Población .....                                                                           | 16  |
| 1.4.8. Red de comunicaciones .....                                                               | 17  |
| 1.4.9. Fuentes energéticas.....                                                                  | 17  |
| 1.5. Geología Regional.....                                                                      | 17  |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.6. Características geológicas, geomorfológicas, tectónicas, geofísicas, hidrogeológicas y de la mineralización del área de los trabajos. .... | 22 |
| 1.6.1. Tectónica. ....                                                                                                                          | 27 |
| CAPITULO II - METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS .....                                                                            | 29 |
| 2.1. Introducción .....                                                                                                                         | 29 |
| 2.2. Metodología de la investigación.....                                                                                                       | 29 |
| 2.3. Etapa preliminar .....                                                                                                                     | 30 |
| Materiales y métodos utilizados .....                                                                                                           | 30 |
| 2.4. Etapa de procesamiento .....                                                                                                               | 31 |
| Procesamiento de la base de datos .....                                                                                                         | 32 |
| Elaboración del sistema de metalotectos para la mineralización cromífera en el sector de Moa. ....                                              | 39 |
| Delimitación de las áreas perspectivas para la mineralización cromífera en el área de estudio .....                                             | 39 |
| 2.5. Etapa Final .....                                                                                                                          | 39 |
| CAPITULO III. REGULARIDADES DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y GENÉTICA DE LA MINERALIZACIÓN CROMÍFERA EN MOA.....                                   | 41 |
| 3.1. Introducción.....                                                                                                                          | 41 |
| Tipos de <i>rocas</i> asociadas .....                                                                                                           | 41 |
| Escenario Tectónico .....                                                                                                                       | 42 |
| Ambiente geológico de formación.....                                                                                                            | 43 |
| Edad de la mineralización.....                                                                                                                  | 43 |
| Caracterización Petrológica y geoquímica .....                                                                                                  | 43 |
| Controles de las menas .....                                                                                                                    | 44 |
| Manifestaciones y yacimientos minerales asociados.....                                                                                          | 44 |
| 3.2. Análisis e interpretación .....                                                                                                            | 45 |
| 3.3. Presentación de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera.....                               | 55 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.1. Distribución espacial y genética.....                                          | 55 |
| 3.4.2. Complejo cumulativo transicional .....                                         | 56 |
| 3.4.3. Áreas perspectivas para la mineralización cromífera en el área de estudio..... | 60 |
| CONCLUSIONES.....                                                                     | 70 |
| RECOMENDACIONES .....                                                                 | 71 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                                                    | 72 |
| ANEXOS .....                                                                          | 75 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Representación esquemática de los complejos litológicos principales de las ofiolitas, ejemplificado en la asociación ofiolítica de Omán ( Fuente: Proenza 2019). .....                                                                                                                   | 5  |
| Figura 2. Foto satelital del área de estudio .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 12 |
| Figura 3. Mapa de ubicación geográfica del municipio de Moa, en la provincia de Holguín. ....                                                                                                                                                                                                      | 13 |
| Figura 4. Esquema de altitudes del municipio Moa, donde se destaca el Pico El Toldo, punto de mayor altitud ubicado en la parte sur.....                                                                                                                                                           | 13 |
| Figura 5. Densidad de la vegetación en la parte emergida del municipio Moa. ...                                                                                                                                                                                                                    | 15 |
| Figura 6. Esquema de la red hidrográfica de la región de Moa. ....                                                                                                                                                                                                                                 | 16 |
| Figura 7. Localizacion geográfica de las ofiolitas septentrionales en Cuba (color violeta). En el cuadro, se destaca la faja ofiolítica Mayarí – Baracoa, cuyo extremo más oriental lo constituye el macizo Moa - Baracoa. Fuente: Iturralde-Vinent et al., (2009). ....                           | 20 |
| Figura 8. Localización geográfica de la faja ofiolítica Mayarí – Baracoa en Cuba Oriental, según el Mapa geológico de la República de Cuba a escala 1: 1 000 000, del Instituto de Geología y Paleontología – Servicio Geológico de Cuba. Redactores: Nùñez-Cambra e Iturralde-Vinent (2015). .... | 20 |
| Figura 9. Esquema de la columna generalizada del macizo ofiolítico Moa - Baracoa (Proenza, J.A., 2018). ....                                                                                                                                                                                       | 21 |
| Figura 10. Mapa geológico a escala 1: 100 000 de la Hoja 5277 “Moa” (IGP-SGC, 2010). ....                                                                                                                                                                                                          | 22 |
| Figura 11. Esquema de ubicación del área de los trabajos en el Mapa Geológico a escala 1: 100 000 de la Hoja 5277 “Moa” . Fuente: IGP-SGC, 2010.....                                                                                                                                               | 23 |
| Figura 12 Mapa tectónico de Moa. Escala original 1:50 000, (tomado de Rodríguez, 1998). ....                                                                                                                                                                                                       | 27 |

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 13. Metodología de las investigaciones desarrolladas .....                                                                                                            | 29 |
| Figura 14. Base de datos de la mineralización cromíferas de Moa (IGP-SGC, 2019).<br>.....                                                                                    | 33 |
| <i>Figura 15. Menú New Map, del Surfer 14.</i> .....                                                                                                                         | 33 |
| Figura 16. Propiedades del Post Map, posición espacial de las muestras. ....                                                                                                 | 34 |
| Figura 17. Puntos de mineralización generado por Surfer. ....                                                                                                                | 34 |
| Figura 18. Clasificación de los puntos por símbolos y colores por tipos de depósitos.<br>.....                                                                               | 35 |
| Figura 19 Clasificación de los puntos por símbolos y colores por perspectiva de depósitos. ....                                                                              | 35 |
| Figura 20. Imagen de la tabla con la base de datos de las coordenadas generadas por Surfer al georeferenciar el mapa. ....                                                   | 36 |
| Figura 21. Imágenes de los polígonos de los complejos insertados en la base 3D Surface, después del proceso de digitalización.....                                           | 37 |
| Figura 22 polígonos del desarrollo de la corteza de meteorización, insertados en la base 3D Surface, con sus símbolos respectivos después del proceso de digitalización..... | 37 |
| Figura 23. Polilíneas que representan las fallas insertadas en la base 3D Surface, con la simbología respectiva después del proceso de digitalización.....                   | 38 |
| <i>Figura 25. Imagen satelital 3D de la región de Moa, con la ubicación de los puntos de mineralización cromífera.</i> .....                                                 | 45 |
| Figura 26. Esquema de la distribución de la mineralización cromífera y la tectónica de la región.....                                                                        | 46 |
| Figura 27 Mapa geológico de la región de Moa con la ubicación de los depósitos de cromíferos. ....                                                                           | 47 |
| Figura 28. Esquema de la relación de la distribución de la mineralización cromífera, tectónica y la red hidrográfica de la región de estudio. ....                           | 48 |

|                                                                                                                                                                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 29. Representación de la imagen satelital 3D del relieve, la red hidrográfica, fallas principales y la distribución de la mineralización cromífera de la región de estudio.....                                        | 49        |
| Figura 30. Esquema de la distribución de la mineralización cromífera y la ubicación de las áreas de desarrollo de lateritas de Moa.....                                                                                       | 51        |
| Figura 31. Esquema en 3D de la tectónica, la red hidrográfica y la corteza de intemperismo que se desarrolla en la región.....                                                                                                | 52        |
| Figura 32. Esquema de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera de la región de estudio. ....                                                                                   | 56        |
| Figura 33. Perfil teórico idealizado de las ofiolitas de la región de Moa – Baracoa, donde se detalla la composición aproximada de la Zona de Transición (MTZ, por sus siglas en inglés). Fuente: Proenza, J.A., (2019). .... | 58        |
| Figura 34. Cromitas de Moa-Baracoa localizados en la MTZ (Proenza 2019b) ...                                                                                                                                                  | 60        |
| Figura 35. La clasificación de los depósitos en porcentaje. ....                                                                                                                                                              | 61        |
| Figura 36. Perspectividad de los depósitos dado en porcentaje. ....                                                                                                                                                           | 62        |
| <i>Figura 37. Esquema de la perspectividad en la región de estudio. ....</i>                                                                                                                                                  | <i>63</i> |
| Figura 38. Comparación de las áreas perspectivas y áreas pronóstico geoquímico, establecida por Gyarmati et al., 1990.....                                                                                                    | 64        |
| Figura 39. Corte Teórico Idealizado de los Restos de la Zona de Transición entre los Complejos Máficos y Ultramáficos. Yacimientos "Cayo Guan" y "Potosí". ....                                                               | 67        |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Coordenadas planas rectangulares de la proyección Cónica Conforme de Lambert, paralelos normales (Cuba Sur), de los vértices del área de investigación. .... | 12 |
| Tabla 2. Valor promedio anual de la lluvia en el municipio Moa. Periodo 2013 – 2017. ....                                                                             | 14 |

|                                                                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 3. Descripción de las unidades geológicas presentes en Cuba Oriental, según Quintas F., (1989) e Iturralde-Vinent, M., (1998).....                                                                                 | 19 |
| Tabla 4. Valores medios de las menas masivas de varios yacimientos de génesis podiforme. Valores de (Gómez 2015). Todos los valores en por ciento en peso. [Análisis por microsonda electrónica de barrido]. (SEM). .... | 44 |
| Tabla 5. Clasificación de los depósitos cromíferos representados en el mapa de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización. ....                                                       | 61 |
| Tabla 6. Perspectividad de los depósitos cromíferos en la región de Moa.....                                                                                                                                             | 62 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 1. Cromitas de Moa - Baracoa localizados en la MTZ (Proenza 2019a) ...                                              | 75 |
| Anexo 2. Representación en 3D de la foto satelital del área de estudio. ....                                              | 75 |
| Anexo 3. Mapa 3D de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera. ....                              | 76 |
| Anexo 4. Comparación de las áreas perspectivas y áreas pronóstico geoquímico, establecida por Gyarmati et al., 1990. .... | 76 |
| Anexo 5. Representación de los bloques pertenecientes al complejo cumulativo transicional en negro. ....                  | 77 |
| Anexo 6. Leyenda de los mapas .....                                                                                       | 78 |
| Anexo 7. Composición química de las cromitas de los depósitos de Cayo Guan, Moa. ....                                     | 79 |
| Anexo 8. Composición química de las cromitas de los depósitos de Potosí. ....                                             | 79 |

## **INTRODUCCIÓN**

La región de Moa constituye desde el punto de vista geológico y económico un área de marcado interés por la presencia de yacimientos lateríticos de níquel y cobalto de categoría mundial, asociados a las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas desarrolladas sobre las rocas ultrabásicas serpentinizadas del macizo ofiolítico del nordeste de Cuba Oriental. En esta región también existen depósitos de cromitas del tipo refractarias, vinculada al complejo cumulativo de la asociación ofiolítica.

Desde el siglo XIX se descubren las cromititas en Cuba. Su primera explotación fue en Holguín, pero a raíz de la I y II Guerras Mundiales se incrementó su exploración y extracción. Camagüey, Moa-Baracoa y Pinares de Mayarí fueron las regiones de mayor potencial minero, de las que se han extraído hasta el momento 3 800 000 toneladas de cromo. Se estima la existencia de cerca de 450 ocurrencias de cromititas, de las cuales el 50% no han sobrepasado la etapa de denuncia por no haber sido registradas topográficamente con rigor y situarse en regiones montañosas cubiertas; al 40% se le han estimado las reservas pero no existe un programa definido de prospección; en el 5% se han realizado operaciones mineras pero aún poseen reservas en sus flancos no evaluadas; el 5% del total han sido evaluadas y de estas un 3% han completado estudios de factibilidad y planificación de operaciones y un 2% están en explotación (Rodríguez et al. 1992).

Actualmente, la actividad de extracción minera de menas cromíferas en la región de Moa-Baracoa está paralizada. Sin embargo, existe un elevado potencial cromítico, dado por las regularidades petrológicas del complejo ofiolítico, que independiente de las ocurrencias ya reportadas, promete resultados positivos en cuanto al descubrimiento de nuevos depósitos en los sectores prospectivos, ya identificados.

Por lo anterior, existe la necesidad de estudiar y evaluar desde el punto de vista técnico-económico los depósitos cromíferos, partiendo de la selección de áreas, manifestaciones y prospectos favorables para la mineralización cromífera en la región de Moa.

## **Problema científico**

Necesidad de establecer las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera en la región de Moa, para incrementar el potencial minero con la ejecución de trabajos de prospección, exploración y explotación de estos recursos minerales.

### **Objeto de estudio**

Mineralización cromífera de la región Moa

### **Campo de acción**

Distribución espacial y genética de la mineralización cromífera de la región Moa

### **Objetivo general**

Establecer las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera para contribuir al conocimiento del potencial minero en la región de Moa, con vista a la prospección, exploración y explotación de estos recursos minerales.

### **Objetivos específicos**

- Representar la ubicación espacial de los depósitos minerales conocidos de la mineralización cromíferas en la región de Moa.
- Analizar el sistema de metalotectos (factores e índices) que favorecen la mineralización cromífera en el sector de Moa.
- Delimitar las áreas perspectivas para la mineralización cromífera en el área de estudio.

### **Hipótesis**

Si se logra establecer las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera en las unidades geológicas de la región de Moa se podrá delimitar las áreas perspectivas para este tipo de mineralización para realizar trabajos de prospección y exploración para la explotación futura de estos recursos minerales.

### **Tareas de investigación**

1. Procesamiento de las bases de datos de los puntos de mineralización cromífera en la Hoja cartográfica 5277-IV "Moa", a escala 1: 50 000.

2. Establecimiento del sistema de metalotectos para la mineralización cromífera en la región de Moa.
3. Delimitación de las áreas perspectivas para la mineralización cromífera en el área de estudio a partir del sistema de metalotectos (factores e índices) elaborados.

### **Resultados esperados**

- Mapas temáticos relacionados con la mineralización cromífera en la región de Moa.
- Mapa de distribución genética y espacial de la mineralización cromífera de la región.
- Mapa de áreas favorables con mineralización cromífera en la región de Moa.

## **CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.**

### **1.1. Marco Teórico conceptual**

Con el objetivo de disponer de los elementos teóricos y conceptuales para la realización de la investigación, se realizó la consulta y revisión crítica de la bibliografía disponible, lo que permitió la elaboración del marco teórico-conceptual acerca de las consideraciones teóricas de la mineralización cromífera en la región de Moa.

La Prospección y Exploración abarca un sistema de conocimientos, métodos, técnicas y herramientas utilizadas para descubrir, estudiar y evaluar desde el punto de vista técnico-económico los yacimientos de minerales sólidos y tiene su base teórica en otras disciplinas como la Mineralogía, Petrografía, Geología Estructural, Estratigrafía, Geología Histórica, Cartografía, Geología de Yacimientos Minerales, Fotogeología, Geotectónica, Informática Aplicada, Estadística y otras y comprende:

- La selección de áreas, manifestaciones y prospectos favorables.
- Ejecución de un complejo de métodos como el levantamiento geológico detallado, trabajos topográficos, geoquímicos y geofísicos, ejecución y documentación de trincheras y pozos de perforación, y análisis de laboratorio.
- Estimación de recursos minerales y reservas y la determinación de la viabilidad técnica y económica para la correcta selección y aprovechamiento industrial de los depósitos minerales estudiados.

En el presente trabajo se realiza la delimitación de las áreas favorables para la mineralización cromífera, en base a la distribución de manifestaciones y prospectos de cromititas y la aplicación de un sistema de metalotectos, dentro del contexto geológico existente en la región de Moa.

La clasificación utilizada en el presente trabajo es la contenida en el libro: "Metalogenia de Cuba. Memoria explicativa del Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1: 250000", según la cual los depósitos minerales sólidos se clasifican según su importancia industrial en las categorías siguientes:

- **Punto de mineralización:** Ocurrencia natural de mineral útil establecida por medios geológicos, que por su tamaño real o aparente no establecen un significado efectivo. Constituyen solo un indicador de acumulaciones minerales presente en el ambiente geológico en los que se localizan.
- **Manifestación:** Ocurrencia natural de mineral útil donde se puede esperar que los futuros trabajos de prospección puedan dar resultados positivos. Comúnmente los trabajos realizados son insuficientes para establecer el tamaño y el grado de concentración del mineral útil.
- **Prospecto:** Depósito mineral que tiene suficiente tamaño y contenido de mineral útil para hacer posible su potencial extracción comercial. Los prospectos deben tener al menos, recursos inferidos y son los objetos de mayor prioridad para desarrollar los trabajos de prospección y exploración, con vistas a definir su valor industrial (categoría de yacimiento).
- **Yacimiento:** Depósito mineral cuyos recursos y calidad del mineral son conocidos con adecuada certeza para su puesta en producción potencial, avalados por un estudio de factibilidad que garantiza su explotación en condiciones de rentabilidad económica.

### Otros términos y conceptos importantes empleados

- a) **Criterios de prospección:** representan premisas y regularidades geológicas de la formación de los depósitos de minerales útiles en la corteza terrestre, por lo que también expresan las leyes del comportamiento de los elementos químicos y sus combinaciones.
- b) **Índices de prospección:** son las evidencias de la existencia de determinados minerales útiles en una región determinada, los que junto a los criterios correspondientes, permiten elevar la eficacia del descubrimiento de los yacimientos de minerales útiles.
- c) **Metalotecto:** etimológicamente proviene del griego (“metalleion”=mina, “tectos”= constructor). Se trata de una guía antecedente, un factor que favorece o condiciona la génesis del yacimiento y su localización en asociación con aquél. En la práctica, se considera cualquier propiedad anterior, simultánea o posterior a la génesis del yacimiento que es favorable a su formación (metalotecto≈guía): Todo dominio espacial o temporal que por su litología, propiedades físicas,

quimismo, etc. o por su relación con otra causa (edad, clima, etc.) pueda albergar la formación de una concentración mineral.

## 1.2. Marco teórico contextual

### Generalidades sobre las Cromititas

El cromo, como se conoce, forma parte de los elementos químicos de la familia del hierro y se presenta en la naturaleza en forma de óxidos múltiples **la espinela cromífera, “cromita”**, en el argot de los mineros y geólogos, siendo la única mena del metal (Muñoz, 2015).

La utilización industrial de las espinelas cromíferas se inició en Noruega, en el año 1820, utilizándose como material refractario, dado el elevado punto de fusión de los minerales cromíticos. La espinela cromífera, se utiliza para la obtención del cromo metálico, la fabricación de aceros inoxidables, aleaciones, materia prima refractaria y en la industria química en la obtención de sales de cromo, con amplia aplicación en la cerámica y pinturas; ésta última aplicación se inició a fines del siglo XIX.

En la actualidad, la mayor cantidad de menas cromíferas, se consumen en la industria metalúrgica para la fabricación de aceros inoxidables y en ferro-aleaciones. Como se conoce, el cromo le confiere al acero, resistencia, tenacidad, dureza, y resistencia a la corrosión por oxidación y al ataque químico. El ferro-cromo (65-70% de Cr) y la estellita (Cr + Co + Mo + V) son productos de alta demanda. En la industria de los refractarios, se utiliza para el revestimiento de hornos y en la industria química, en la producción de tintes y otros compuestos (Muñoz Gómez J.N., 2015).

### Características geoquímicas del cromo

El cromo es un elemento químico de número atómico 24, se localiza en el sexto grupo y cuarto periodo de la tabla periódica de los elementos. La masa atómica 51,9961; se conocen cuatro isótopos del metal, a saber (Muñoz Gómez J.N., 2015):

| <u>Isótopo</u>   | <u>% en la naturaleza</u> |
|------------------|---------------------------|
| Cr <sup>50</sup> | 4,3500                    |
| Cr <sup>52</sup> | 83,7900                   |
| Cr <sup>53</sup> | 9,5000                    |

**Cr<sup>54</sup>****2,3600**

En condiciones naturales el cromo puede presentarse en los estadios de valencia estable, en forma cromo bivalente, trivalente y hexavalente:

**(Cr<sup>2+</sup>)** Radio iónico: **0,54 Å**

**(Cr<sup>3+</sup>)** Radio iónico: **0,63 Å**

**(Cr<sup>6+</sup>)** Radio iónico: **0,52 Å**

Dada la similitud del radio iónico del Cr<sup>3+</sup> con el de Fe<sup>3+</sup> y el Al<sup>3+</sup> en la estructura de la espinela cromífera se sustituyen unos a otros, lo que constituye una de las principales características geoquímicas del cromo en sus minerales.

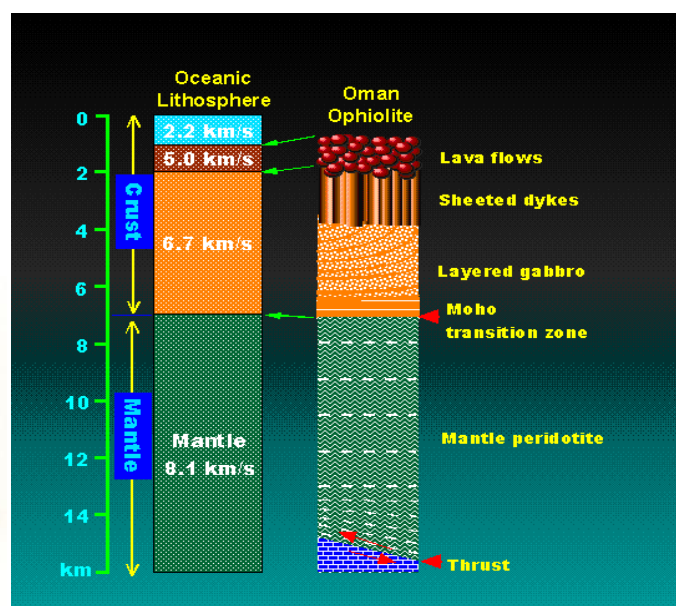
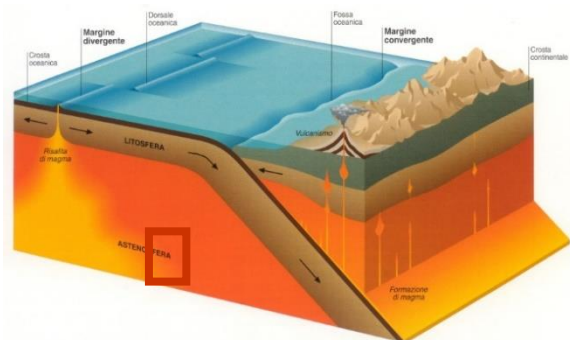
El contenido medio del cromo en la corteza terrestre es de 102 mg/kg. En condiciones exógenas, las espinelas cromíferas son estables dado su alto peso específico, alta dureza y solubilidad relativamente baja, pudiéndose concentrar en forma de acumulaciones friables, los denominados depósitos de placer, pero de poca importancia económica. Solo en condiciones de elevado potencial de oxidación, el cromo se puede localizar en forma hexavalente (Cr<sup>6+</sup>), eso explica la existencia de cromatos estables en los yacimientos de nitratos al norte de Chile (Muñoz, 2015).

En correspondencia con el comportamiento geoquímico del cromo en la corteza superior, todas las concentraciones del metal en forma de óxidos complejos, van a estar espacial y genéticamente asociados a las litologías ultramáficas por ser éstas las más refractarias.

### **Asociación Ofiolítica**

Las “ofiolitas” constituyen fragmentos de la litosfera oceánica que han sido emplazados tectónicamente sobre arcos de islas o márgenes continentales (Dilek, et al., 2011). Una de las características petrológicas y estructurales más relevante del corte ofiolítico, lo constituye la llamada zona de transición, entre los complejos litológicos de la parte superior del manto y los de la parte inferior de la corteza oceánica. En la figura 1 se representa de manera esquemática los complejos litológicos de las ofiolitas, ejemplificado en la asociación ofiolítica de Omán (Proenza, 2019).

## Ofiolita = “litosfera oceánica”



**Figura 1.** Representación esquemática de los complejos litológicos principales de las ofiolitas, ejemplificado en la asociación ofiolítica de Omán (Fuente: Proenza 2019).

En Cuba los principales depósitos de cromo y cromitas se localizan en la llamada *zona de transición* entre la parte superior del manto terrestre y la corteza oceánica inferior (Muñoz Gómez, 1998).

En Cuba los yacimientos de cromita están localizados principalmente en la región centro-oriental, encontrándose yacimientos asociados al macizo ofiolítico de Mayarí – Cristal y Moa – Baracoa. Dentro de los depósitos de cromita en esta región se pueden mencionar: Cayo Guam, Mercedita, Los Naranjos, Amores, Potosí, Casimba, La Estrella, Caledonia, Piloto y otros. Asociados al complejo ofiolítico de Camagüey se encuentran: Camagüey I, Camagüey II, Lolita, Aventura, La Sorpresa, Porvenir, Altagracia, La Iguana, Desprecio, Altagracia, San Serapio, Virtudes, Tres Ríos, Minas, etc. (Cala 2016).

En el mundo se destacan yacimientos de cromita siguientes (Muñoz, 2015):

- Guleman, Turkia
- Kukes – Tropoje, Albania
- Tiébaghi ophiolite – Massif du Sud, Nueva Caledonia
- Acoje y Masinloc – Coto, Filipinas
- Batamshinsk – Tagashaisai – Southern Urals, Kajastán
- Xeraivado – Skoumtsa, Grecia
- Semail ophiolite, Omán

- Troodos, Chipre

Las menas cromíticas podiformes asociadas a los complejos ofiolíticos pueden ser del tipo de **menas metalúrgicas**, cuyas exigencias industriales son las siguientes:

**Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 45% – 60%**

**Cr/Fe - 2,8 – 4,3**

Para el caso de las **menas refractarias**: (Fuente única de las espinelas cromíferas refractarias), las exigencias industriales son las siguientes:

**Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (mínimo) – 60,0%**

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (mínimo) – 25,0%**

**FeO (máximo) – 15,0%**

En la actualidad el 57,0% de la producción mundial procede de los yacimientos podiformes vinculados a los complejos ofiolíticos (Muñoz Gómez, J.N. 2015).

### **Mineralogía de las menas cromíticas**

En la actualidad se conocen alrededor de 82 especies minerales que contienen cromo, pero solo muy pocos se comercializan; en sentido general, la composición mineralógica de las menas cromíticas es muy uniforme en todo el mundo, independiente del tipo genético de yacimiento mineral y está caracterizada por la espinela cromífera, que según su expresión general, pertenece a los óxidos complejos (Cala, 2016): **(Mg, Fe)(Al,Fe,Cr)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>**

### **Composición química**

A continuación, se relacionan los principales minerales de cromo, donde se destaca la cromita (Muñoz Gómez 2015):

Magnesiochromite - MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - Fd3m 4/m -3 2/m

Manganochromite - (Mn,Fe<sup>++</sup>)(Cr,V)<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - Fd3m 4/m -3 2/m

Chromite - Fe<sup>++</sup>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - Fd3m 4/m -3 2/m

Nichromite - (Ni,Co,Fe<sup>++</sup>)(Cr,Fe<sup>+++</sup>,Al)<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - Fd3m 4/m -3 2/m

Cochromite - (Co,Ni,Fe<sup>++</sup>)(Cr,Al)<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - Fd3m 4/m -3 2/m

Zincochromite - ZnCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - Fd3m 4/m -3 2/m

### **1.3. Investigaciones precedentes**

Las primeras investigaciones reportadas para la región de Holguín datan del periodo neocolonial, las que se orientaron a la prospección de materias primas minerales, vinculadas fundamentalmente de oro. Se destacan las investigaciones realizadas por (Vaughan, 1901), (Rode, 1930) y (Aguilera & Manduley, 1909) tomado de (Muñoz, 1997).

Luego del triunfo revolucionario las investigaciones geológicas en Cuba se incrementaron; la cooperación con los países del CAME posibilitó la asesoría de científicos extranjeros que junto a cubanos llevaron a cabo el levantamiento geológico de la República de Cuba (Nagy et al., 1976). Más tarde fueron publicados diversos trabajos donde se abordaron los rasgos tectónicos, estratigráficos y genéticos de la actualmente conocida zona de Auras (Brezsnyanszky & Boros, 1992), (Barea & Rodríguez, 1985), (Brezsnyanszky & Iturralde\_Vinent, 1978) y (Nagy et al., 1976). Algunos de los trabajos más importantes sobre esta región fueron publicados por (Kosak et al., 1988) y (Cobiella\_Reguera 1978), los que abordaron la génesis y relación tectónica de las secuencias del Arco Volcánico y la melange ofiolítica.

Las primeras denuncias de la mineralización cromífera en Cuba datan desde las últimas décadas del siglo XIX y los primeros años del XX, las que quedan recogidas en los trabajos de Hayes, Vaughan y Spencer, tomado de (Muñoz Gómez J.N., 1997) refiriendo (Hayes, C.W., Vaughan, T.W. and Spencer, A.C., 1901).

La primera explotación de cromita se desarrolló en Holguín, pero a raíz de la I y II Guerras Mundiales se incrementó su exploración y extracción. Camagüey, Moa-Baracoa y Pinares de Mayarí fueron las regiones evaluadas por poseer el mayor potencial minero. De estas regiones se han extraído hasta el momento 3 800 000 toneladas de cromo. Hoy se reportan alrededor de 450 ocurrencias de cromititas, de las cuales el 50% no han sobrepasado la etapa de denuncia por no haber sido registradas topográficamente con rigor y situarse en regiones montañosas cubiertas; al 40% se le han estimado recursos y reservas, en el 5% de los depósitos se han realizado operaciones mineras pero aún poseen reservas en sus flancos no evaluadas; el 5% del total han sido evaluadas y de estas un 3% han completado estudios de factibilidad y planificación de operaciones y un 2% están en explotación (Rodríguez et al. 1992).

Desde 1914, fecha en que se realizó la primera exportación de minerales cromíticos hacia los Estados Unidos de América (Thayer 1942) hasta la actualidad, la prospección de los yacimientos cromíferos (depósitos de cromitas), la metodología tradicional se ha fundamentado en el principio de la aflorabilidad de los puntos de mineralización, manifestaciones minerales y cuerpos minerales de las espinelas cromíferas (cromitas) y en la presencia de bloques, cantos rodados y arrastres en los sedimentos pesados de cañadas, arroyos y ríos que surcan los complejos litológicos de la asociación ofiolítica (Muñoz,1997).

En consideración de Thayer, los primeros trabajos de explotación de cromitas se efectuaron en Cuba en los años cincuenta y sesenta del siglo pasado y las exportaciones hacia los Estados Unidos de América, se iniciaron con un embarque de 34 toneladas métricas en 1916.

El primer reporte geológico oficial, fue publicado a inicios del siglo XX por Hayes, Vaughan y Spencer; fue precisamente Spencer el primero en notificar la existencia de cromitas diseminadas en los horizontes lateríticos de la región de Moa. (Hayes Vaughan, T.W. and Spencer, A.C. 1901).

En 1918, Burch y Burchard realizaron algunas evaluaciones de los minerales y recursos pronósticos de minerales cromíticos y de manganeso en el Oriente cubano, los trabajos estaban dirigidos a incrementar el estudio y los volúmenes de reservas de minerales de cromo, debido a las necesidades del gobierno de Los Estados Unidos de América, como consecuencia de la demanda originada por la Primera Guerra Mundial. (De Muñoz, 1997, refiriéndose a Burch, A. and Burchard, E.F., 1919).

A finales de 1929 se publicaron los resultados de las investigaciones geológicas sobre los yacimientos de cromitas en la provincia de Camagüey ( Muñoz, 1997).

Un destacado trabajo que contribuyó al conocimiento geológico de la mineralización cromífera asociada a las ultramafitas, fue el trabajo regional desarrollado por T. P. Thayer y sus colaboradores a principios de la década de los años cuarenta del siglo pasado Posteriormente, a finales de esa década se efectuaron trabajos detallados en los yacimientos de la provincia de Camagüey y en la región de Moa. (Muñoz, 1997, refiriéndose a Guild, P.M., Flint, D.E., and Albear, J.F., 1947).

Posteriormente se destacaron los trabajos realizados a principios del triunfo de la Revolución por A. Adamovich y V. Chejovich, que consistió en un levantamiento geológico regional del nordeste de la antigua provincia de Oriente. Las investigaciones realizadas se ejecutaron con un volumen bajo de laboreos mineros y de pozos de mapeo, no obstante, sirvió de documento geológico primario para futuros proyectos de prospección. En esas investigaciones se evaluaron en la categoría de pronóstico, los recursos cromíticos de la zona oriental (Adamovich Chejovich, V., et al. 1962).

Seguidamente, entre los años 1963 y 1964, se desarrollaron investigaciones y trabajos de exploración en los yacimientos de la región de Moa - Baracoa ("Cayo Guan", "Potosí" y "Delta") dirigidos por Kenarev, estableciéndose el carácter refractario de las menas cromíticas de la región de Moa - Baracoa. Se estudió en detalle el yacimiento de menas cromíferas "Potosí", realizándose el cálculo de reservas del yacimiento. (De Muñoz, 1997, refiriéndose a Kenarev, V., 1962-1963).

En la zona de los yacimientos "Mercedita" y "Yarey" se efectuaron estudios de la mineralización cromífera refractaria, dirigida por Diomin durante los años 1964-1966, el objetivo fundamental de los trabajos estaba orientado a caracterizar la estructura geológica del campo mineral Mercedita - Yarey, ejecutándose el cálculo de reservas de ambos yacimientos cromíferos; como tareas secundarias se estudiaron las manifestaciones Loro y Piloto (Muñoz, 1997).

Un trabajo de carácter regional realizado en los principales yacimientos y manifestaciones cromíticas en la región de Pinares de Mayarí hasta las inmediaciones del río Castro en Sagua de Tánamo fue dirigido por Murashko en 1966-1967. Como resultado de los trabajos ejecutados se presentó un mapa de cada depósito, con la evaluación de los recursos y se estableció el carácter metalúrgico de la mineralización cromífera en la zona de Pinares de Mayarí (Muñoz, 1997).

En los años 1973 y 1974 se realizaron trabajos de prospección y exploración geológica en el área de explotación histórica ("Cromita2", "Cayo Guan", "Potosí" y "Las Deltas"), realizándose un estudio geológico de los yacimientos en explotación y se ejecutó el cálculo de reservas de los mismos (Dzuber, A., 1974). Tomado de Muñoz, 1997.

En 1997 investigadores del Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba desarrollaron trabajos científicos en áreas perspectivas dirigidas a incrementar los conocimientos sobre la mineralización cromífera (1969-1973) entre los que se destacan: M. Muñoz, N. V. Parlov, I. J. Grigorieva, Krachenko y O. Vázquez. Es de señalar el trabajo de levantamiento geológico regional de la antigua provincia de Oriente ejecutado por especialistas de la Academia de Ciencias de Hungría y el Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba (1973-1976), donde se expusieron consideraciones importantes sobre la mineralización cromífera y un mapa de yacimientos minerales con la evaluación pronóstico de los recursos de menas cromíferas.

Durante los años 1988-1989 se desarrollaron trabajos temáticos en la región de Moa - Baracoa, cuyo objetivo central estaba dado en conocer el comportamiento geoquímico de los elementos del grupo del platino (PGE) tanto en las cortezas de intemperismo como en las espinelas cromíferas y en las litologías máficas y ultramáficas. Las investigaciones respondieron al cumplimiento del tema: "Yacimientos Minerales Útiles de la República de Cuba", participando especialistas de la Academia de Ciencias de Cuba y de la antigua Unión Soviética y profesores de la Facultad de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (Muñoz, 1997).

Como resultado principal de las investigaciones efectuadas se obtuvo la identificación de fases platiníferas en las mineralizaciones vinculadas a la asociación ofiolítica (en espinelas cromíferas de los yacimientos "Cayo Guan", "Potosí", "Mercedita" y "Albertina", entre otros yacimientos y manifestaciones) y sus litologías, así como en las cortezas de intemperismo de perfil laterítico, corroborándose la existencia de minerales del grupo del platino en las menas que abastecen la actual planta de la Moa Nickel S.A., en las colas metalúrgicas de dicha instalación y en el concentrado final de sulfuro de níquel y cobalto. Tomado de Muñoz, 1997, refiriéndose a los trabajos de (Disther, V.V., et.al., 1989) y (Disther, V.V., Falcón, H.J., Muñoz Gómez J.N. y Campos Dueñas. M., 1990).

En el periodo 1987 – 1990, se desarrolló el levantamiento geológico de la región de Moa – Baracoa a escala 1: 50 000, por especialistas geólogos y geofísicos de la Academia de Ciencias de Hungría y cubanos de la Empresa Geominera de Oriente, llevándose a cabo un volumen considerable de trabajos geológicos y tareas de prospección acompañante (Gyarmati y O'conor 1990).

Otros trabajos de prospección y exploración geológica se realizaron durante varios años por la Empresa Cromo Moa, en Moa. Dentro de estos trabajos se destacan los trabajos de prospección y exploración detallada en el yacimiento “Amores”, entre los años 1986-1990. En estos trabajos se establecieron las características del yacimiento y en especial del Cuerpo # 11. (Labrada Gómez, J. C., 1990). Asimismo, se efectuó la exploración orientativa en los cuerpos minerales restantes que conforman el yacimiento “Amores”, en particular los Cuerpos: **1, 2, 5 y 10**, estableciéndose además la posición geológica en el yacimiento (Labrada Gómez, J. C., 1988).

En el año 1991 se presentó el informe sobre los resultados del levantamiento geológico en escala 1: 10 000 ejecutado por especialistas del Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba, como parte del tema **401-12**, el que incluyó el estudio de la geología de los yacimientos de cromo de la región de Moa – Baracoa y su evaluación pronóstico. (Referido por Muñoz, 1997, de Fonseca, E., et al., 1991).

Durante el período de 1992 - 1993 se realizaron los trabajos de prospección detallada del yacimiento “Los Naranjos”, incluyéndose el cálculo de reservas del yacimiento de menas cromíferas (Pelier Carcassés, M., 1992). Asimismo, se ejecutaron diferentes tareas geológicas en la manifestación mineral **MB - 32**. Esencialmente los trabajos estuvieron encaminados a realizar la exploración orientativa de la manifestación mineral **MB - 32** y la ejecución del cálculo de reservas correspondiente (Pelier Carcassés, M., 1992).

El año de 1997 se realizaron trabajos de geoquímica y mineralogía de la mineralización Cromífera asociada a la Asociación Ofiolítica en la Región de Moa - Baracoa, donde se presentaron importantes resultados que contribuyen para conocimiento de la génesis de los yacimientos de cromititas y sus implicaciones en los principios de prospección de la mineralización cromífera en el área de estudio. Estudios petrológicos e investigaciones de microscopía electrónica de barrido facilitaron la identificación de las mineralizaciones asociadas a las espinelas cromíferas en el yacimiento "Potosí". Se establecieron las paragénesis minerales, los modelos teóricos correspondientes y el orden de consecutividad de formación de las mismas. Se fundamenta, desde el punto de vista geoquímico, mineralógico y petrológico, la hipótesis de segregación de la espinela cromífera (Gómez 1997).

La elaboración del modelo genético teórico del yacimiento Potosí, contribuyó al conocimiento de la mineralización cromífera y constituye un aporte a la metalogenia endógena den la región de Moa - Baracoa, al constituir el primer modelo genético que se elabora en los yacimientos de cromititas cubanas (Muñoz Gómez 2003).

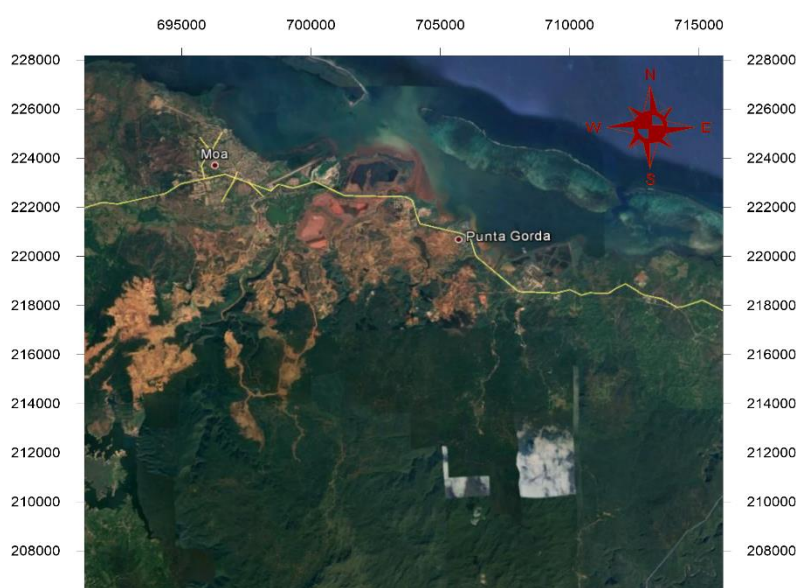
#### 1.4. Características físico-geográficas

##### 1.4.1. Ubicación del área de estudio

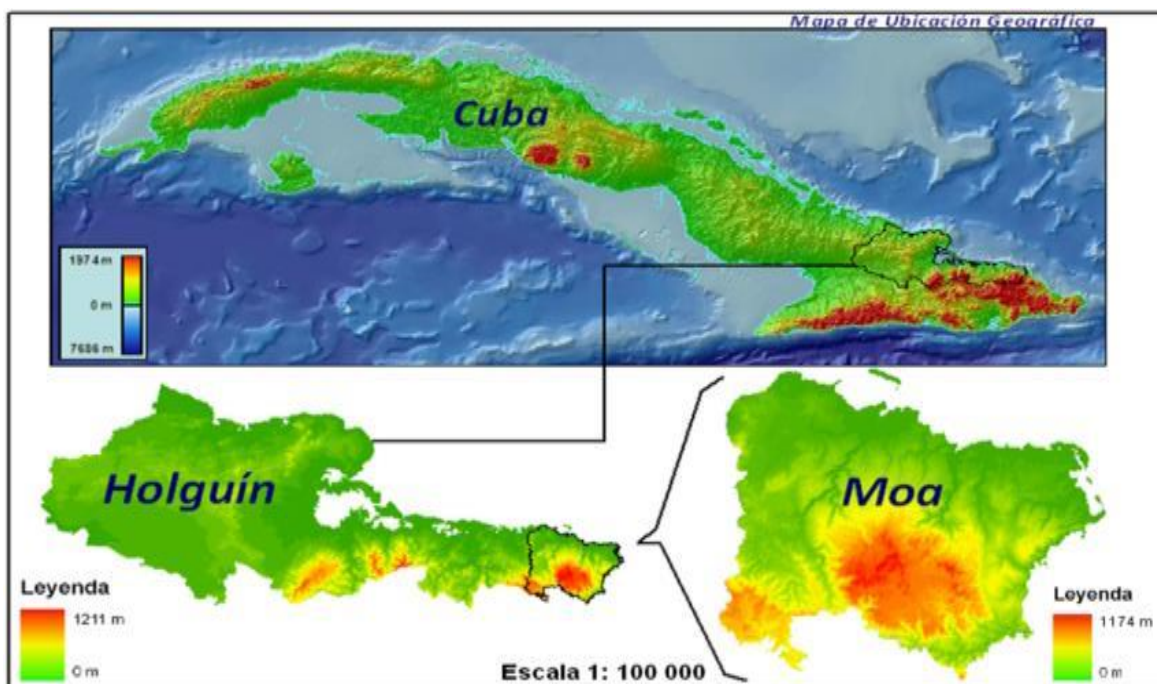
El área de estudio abarca un área aproximada de 450 km<sup>2</sup> de las cuales más 350 km<sup>2</sup> corresponden al del territorio emergido y el resto, a la zona acumulativa marina, comprendida entre el litoral y la barrera coralina. Las coordenadas planas rectangulares de la proyección Cónica Conforme de Lambert, paralelos normales (Cuba Sur), de los vértices del polígono son las siguientes (tabla 1):

**Tabla 1. Coordenadas planas rectangulares de la proyección Cónica Conforme de Lambert, paralelos normales (Cuba Sur), de los vértices del área de investigación.**

| Vértices | X Este  | Y Norte |
|----------|---------|---------|
| 1        | 691 250 | 206 250 |
| 2        | 691 050 | 224 750 |
| 3        | 717 050 | 224 950 |
| 4        | 717 300 | 206 500 |



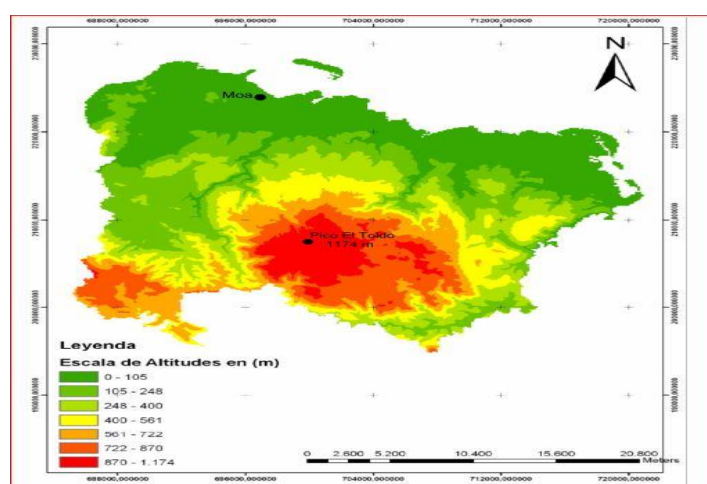
**Figura 2. Foto satelital del área de estudio**



**Figura 3. Mapa de ubicación geográfica del municipio de Moa, en la provincia de Holguín.**

#### 1.4.2. Relieve

El relieve del municipio de Moa se clasifica en dos zonas geomorfológicas: la zona de relieve de llanura, que representa una estrecha franja en la parte norte; y la zona de relieve de montañas, que representa el 78 % de la superficie total del municipio que se extiende hacia el sur con alturas superiores a los 1000 metros y cuya mayor elevación es el pico El Toldo en las Cuchillas de Moa, con 1174 metros sobre el nivel del mar (Figura 4).



**Figura 4. Esquema de altitudes del municipio Moa, donde se destaca el Pico El Toldo, punto de mayor altitud ubicado en la parte sur.**

### 1.4.3. Clima

La región presenta un clima tropical con abundantes precipitaciones, siendo una de las áreas de mayor pluviometría del país, lo que está estrechamente relacionado con el relieve montañoso de la región y la influencia de los vientos alisios cargados de humedad provenientes del océano Atlántico. En esta zona ocurre el mayor contraste climático de Cuba. Según datos del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, en el periodo comprendido del 2013 al 2017, el promedio anual de precipitaciones atmosféricas ascendió a 2446 mm, con periodos máximos entre los meses de enero – febrero y octubre – diciembre (tabla 1).

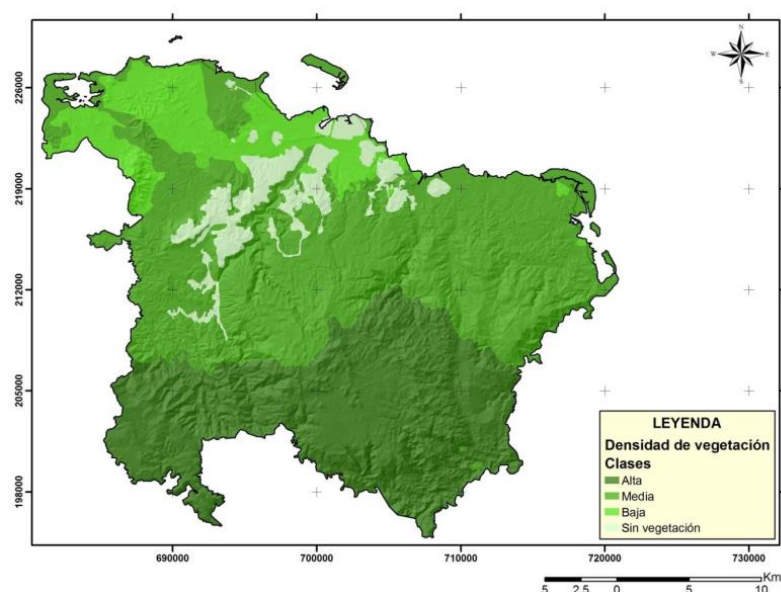
**Tabla 2. Valor promedio anual de la lluvia en el municipio Moa. Periodo 2013 – 2017.**

| Año      | Media Anual | E     | F     | M   | A     | M     | J   | J    | A     | S     | O     | N     | D     |
|----------|-------------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2013     | 2169        | 154   | 209   | 197 | 178   | 178   | 168 | 123  | 177   | 117   | 213   | 251   | 204   |
| 2014     | 2707        | 309   | 156   | 75  | 259   | 258   | 79  | 78   | 178   | 117   | 164   | 726   | 308   |
| 2015     | 1749        | 120   | 248   | 119 | 38    | 253   | 59  | 43   | 88    | 117   | 142   | 353   | 169   |
| 2016     | 2783        | 357   | 351   | 71  | 162   | 221   | 184 | 113  | 120   | 164   | 497   | 353   | 181   |
| 2017     | 2823        | 137   | 39    | 338 | 202   | 164   | 140 | 110  | 150   | 319   | 233   | 554   | 437   |
| Promedio | 2446,2      | 215,4 | 200,6 | 160 | 167,8 | 214,8 | 126 | 93,4 | 142,6 | 166,8 | 249,8 | 447,4 | 259,8 |

**Fuente: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.**

### 1.4.4. Vegetación

El municipio de Moa se enmarca dentro del macizo montañoso Sagua – Baracoa, que forma parte del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, rico en fauna y flora con numerosas especies autóctonas y que representa la zona de mayor biodiversidad del país con un 68% de especies autóctonas (Reyes y del Risco, 1993). La vegetación presente en el área es variada, con la presencia de formaciones de vegetación tales como: pinares, bosques en galería, arbustivos y vegetación secundaria. La vegetación de estos suelos se mantiene por la elevada humedad y por los mecanismos de conservación de los nutrientes que los mismos han desarrollado, predominando el *Pinus Cubensis* y plantas latifolias, endémicas de la región. En la figura 3 se muestra la densidad de la vegetación en el municipio Moa.



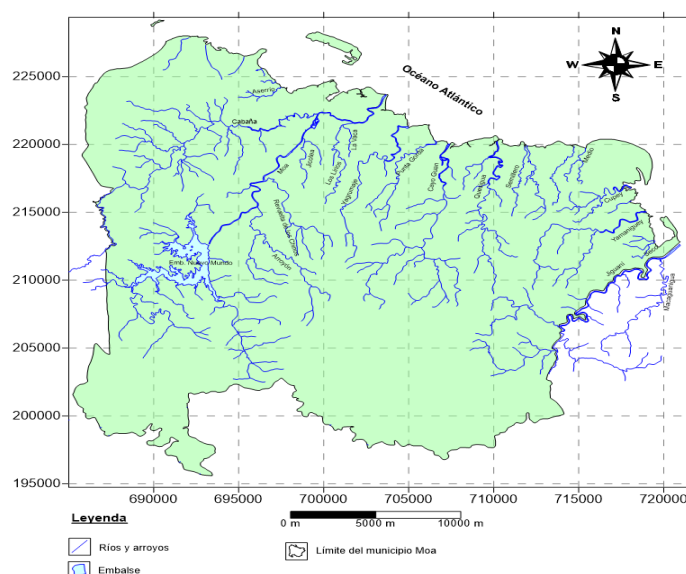
**Figura 5. Densidad de la vegetación en la parte emergida del municipio Moa.**

#### **1.4.5. Economía**

La región de Moa se caracteriza por el desarrollo de la industria minera, contando con dos plantas metalúrgicas para el procesamiento de las menas lateríticas de níquel y cobalto, la Moa Nickel S.A. - Pedro Soto Alba y la Comandante Ernesto Che Guevara. Además existen otras industrias y empresas relacionadas con la actividad minero - metalúrgica tales como: la Empresa Mecánica del Níquel (EMNi), el Centro de Ingeniería y Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL) y otras empresas y entidades, como la Empresa Geominera de Oriente, el Combinado Lácteo y otros. El desarrollo de la industria minera en Moa inició en 1938 con la explotación de las minas de cromo de Cayo Guam y Narciso. Actualmente, las industrias del níquel Moa Nickel S.A. - Pedro Soto Alba y Comandante Ernesto Che Guevara, realizan la explotación de las reservas ferroniquelíferas para la elaboración de los productos intermedios de níquel y cobalto, que constituyen el segundo renglón exportable de nuestro país. La Moa Nickel S.A. también realiza la extracción de lodos calcáreos en la Bahía de Cayo Moa, los que son utilizados en el proceso de lixiviación ácida de los minerales lateríticos. Adicionalmente, se encuentra en construcción una planta de ferroníquel, para el procesamiento de menas saprolíticas ricas en níquel. En la región también se explotan los recursos forestales por la Empresa Municipal Agroforestal, constituyendo un eslabón importante de la economía del municipio.

### 1.4.6. Hidrografía

Las características del relieve y el régimen de las precipitaciones han favorecido la formación de una densa red hidrográfica que corre de sur a norte, constituida por ríos principales como el Jaguaní, Moa, Quesigua, Yagrumaje, Cayo Guan, Punta Gorda, y Yamanigüey, así como otros tributarios que conforman una densa red de cañadas (Figura 3). Los ríos principales mantienen su caudal durante todo el año, debido a las abundantes precipitaciones atmosféricas que superan los 2000 milímetros anuales.



**Figura 6. Esquema de la red hidrográfica de la región de Moa.**

### 1.4.7. Población

Al municipio Moa están integrados 21 asentamientos poblacionales, dos urbanos y 19 rurales, de los cuales, cuatro forman parte del Plan Turquino. Al este del territorio están situados siete asentamientos, uno de ellos urbano, Punta Gorda y seis rurales. Al oeste se encuentran 8 asentamientos rurales con baja densidad poblacional, colindantes con los municipios de Sagua de Tánamo y Frank País. Al sur, muy próximo a la cabecera municipal está situado el asentamiento La Veguita. Más al sur, en medio del macizo montañoso radican tres de los cuatro asentamientos de montaña que tiene el territorio. El otro asentamiento rural de montaña es La Melva, al sureste, colindante con el municipio Yateras, provincia Guantánamo. La población del municipio al cierre de diciembre del 2017 era de 74 358 habitantes, qué lo sitúa en el cuarto lugar de la provincia, con una densidad poblacional de 97,4 habitantes por kilómetro cuadrado, el sexto lugar a nivel

provincial en este indicador. La tasa de crecimiento anual es de -3,8 por mil habitantes, lo que significa que la población decrece. La cabecera municipal es la ciudad de Moa con más de 62 000 habitantes.

#### **1.4.8. Red de comunicaciones**

Las principales vías de comunicación en el municipio están dadas por dos carreteras principales, que lo enlazan con el municipio de Sagua de Tánamo hacia el oeste y la carretera Moa - Baracoa al este y la red de caminos, que comunican los 19 asentamientos rurales existentes, así como los asociados a la explotación de los recursos mineros y forestales. Además de las vías terrestres, existe comunicación aérea a través del aeropuerto "Orestes Acosta" y una terminal portuaria, vía principal de importación y exportación de la industria niquelífera.

#### **1.4.9. Fuentes energéticas**

El suministro energético se realiza en lo fundamental por el Sistema Electro - Energético Nacional, al que se suma la generación de la minihidroeléctrica construida en la presa Nuevo Mundo. Además, existe la Central Diésel Eléctrica diseñada para suministrar energía a la planta de Ferroníquel y que por sus excedentes aporta energía a diferentes áreas del municipio Moa.

### **1.5. Geología Regional**

Las características geológicas de la región de Moa – Baracoa evidencian una elevada complejidad, determinada por la diversidad de los complejos de rocas existentes, que están representadas por unidades con carácter alóctono que han sido emplazadas y afectadas por múltiples eventos tectónicos durante la evolución geológica del territorio.

Iturralde-Vinent (1998), reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano, dos elementos estructurales principales: **el substrato plegado y el neoautóctono**. El substrato plegado según este autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorizados de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición diferente a la original, representado por unidades geológicas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. En Cuba Oriental las unidades continentales están representadas por el Terreno Asunción, compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, la Fm. Sierra Verde y las metamorfitas La Asunción (unidad

informal), constituidas por materiales metaterrígenos y metacarbonatados respectivamente, del Jurásico Superior al Cretácico Inferior, las cuales no aparecen representadas en la región de Moa.

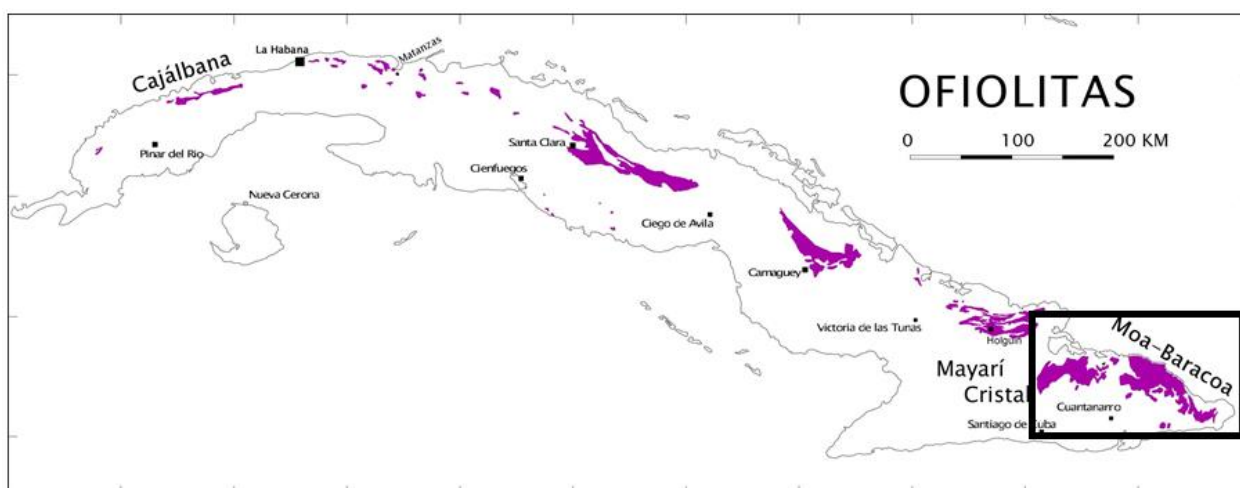
Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del AVC, las secuencias de las cuencas de *piggy back* del Campaniano Tardío-Daniense, el AVP y las rocas de las cuencas de *piggy back* del Eoceno Medio - Oligoceno. El neoa autóctono está constituido por materiales terrígeno - carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del substrato plegado.

La sistemática asumida por los trabajos antes referidos, se representa de forma resumida en la tabla 3.

**Tabla 3. Descripción de las unidades geológicas presentes en Cuba Oriental, según Quintas F., (1989) e Iturralde-Vinent, M., (1998).**

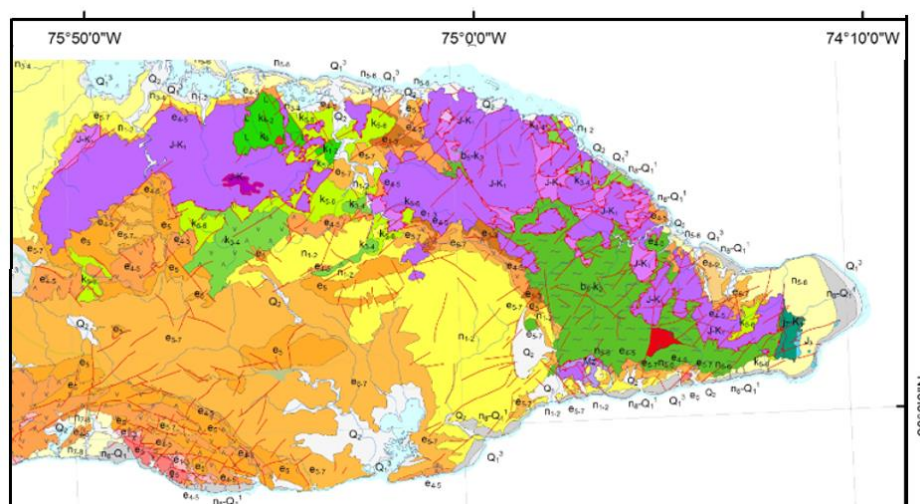
| Unidades Geológicas                                  | Asociaciones Estructuro – Formacionales. Quintas (1989)                    | Elementos Estructurales. Iturralde-Vinent (1998)     | U<br>n<br>i<br>d<br>a<br>d<br>e<br>s<br><br>O<br>c<br>e<br>á<br>n<br>i<br>c<br>a<br>s | S<br>U<br>B<br>S<br>T<br>R<br>A<br>T<br>O<br><br>P<br>L<br>E<br>G<br>A<br>D<br>O |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Rocas ultrabásicas serpentinizadas y complejo básico | AEF de la antigua corteza oceánica                                         | Ofiolitas septentrionales                            |                                                                                       |                                                                                  |
| Fm. Morel                                            | AEF del Arco volcánico del Cretácico                                       | Arco volcánico del Cretácico                         |                                                                                       |                                                                                  |
| Fm. Santo Domingo<br>Fm. Sierra del Purial           |                                                                            |                                                      |                                                                                       |                                                                                  |
| Fm. La Picota                                        | AEF cuencas superpuestas al arco volcánico del Cretácico                   | Cuencas <i>piggy-back</i> 1 <sup>ra</sup> generación |                                                                                       |                                                                                  |
| Fm. Mícara                                           |                                                                            |                                                      |                                                                                       |                                                                                  |
| Fm. Sabaneta                                         | Arco volcánico del Paleógeno                                               | Arco de islas volcánico del Paleógeno                |                                                                                       |                                                                                  |
| Fm. Sierra de Capiro                                 | Cuenca superpuestas de la etapa platafórmica                               | Cuencas <i>piggy-back</i> 2 <sup>da</sup> generación |                                                                                       |                                                                                  |
| Fm. Yateras<br>Fm. Júcaro<br>Depósitos Cuaternarios  | Secuencias terrígeno – carbonatadas de la etapa de desarrollo platafórmico | NEOAUTÓCTONO                                         |                                                                                       |                                                                                  |

Iturralde-Vinent (1996), divide a las **ofiolitas septentrionales** en tres fajas principales (Figura 5): Cajalbana, Mariel-Holguín y Mayarí-Baracoa. La faja Mayarí-Baracoa a su vez la divide en tres macizos: Mayarí-Cristal, Sierra del Convento y Moa-Baracoa.



**Figura 7. Localización geográfica de las ofiolitas septentrionales en Cuba (color violeta). En el cuadro, se destaca la faja ofiolítica Mayarí – Baracoa, cuyo extremo más oriental lo constituye el macizo Moa - Baracoa. Fuente: Iturralde-Vinent et al., (2009).**

La **Faja Mayarí-Baracoa** posee una forma pseudo-tabular con una longitud de 170 km y entre 10 – 30 km de ancho y un espesor promedio de 3,5 km. Geomorfológicamente está dividido por el valle del río Sagua de Tánamo. Según Torres (1987), Fonseca y otros (1985a, 1992), Iturralde-Vinent (1996, 1998) y Proenza (1997) está constituida por los complejos ultramáfico, de acumulados máfico y ultramáfico, volcánico y sedimentario, todos intensamente fallados debido a su emplazamiento tectónico (Figura 6).



**Figura 8. Localización geográfica de la faja ofiolítica Mayarí – Baracoa en Cuba Oriental, según el Mapa geológico de la República de Cuba a escala 1: 1 000 000, del Instituto de Geología y Paleontología – Servicio Geológico de Cuba. Redactores: Núñez-Cambra e Iturralde-Vinent (2015).**

En la faja Mayarí – Baracoa, las ofiolitas sobreyacen tectónicamente las rocas del AVC y en algunas áreas están cubiertas por materiales vulcano-sedimentarios del

arco de isla del Paleógeno y por secuencias terrígenas-carbonatas más jóvenes (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1998; Proenza, 1997; Cobiella-Reguera, 1997, 2000).

En la region de Moa – Baracoa, la secuencia ofiolítica de piso a techo, está constituida por peridotitas con texturas de tectonitas de origen mantélico; acumulados ultramáficos y máficos, donde se localiza la MTZ; el nivel de gabros bandeados, representados por troctolitas, gabros y noritas y la secuencia superior volcánógeno – sedimentaria, donde aparecen basaltos en almohadilla (Figura 7).

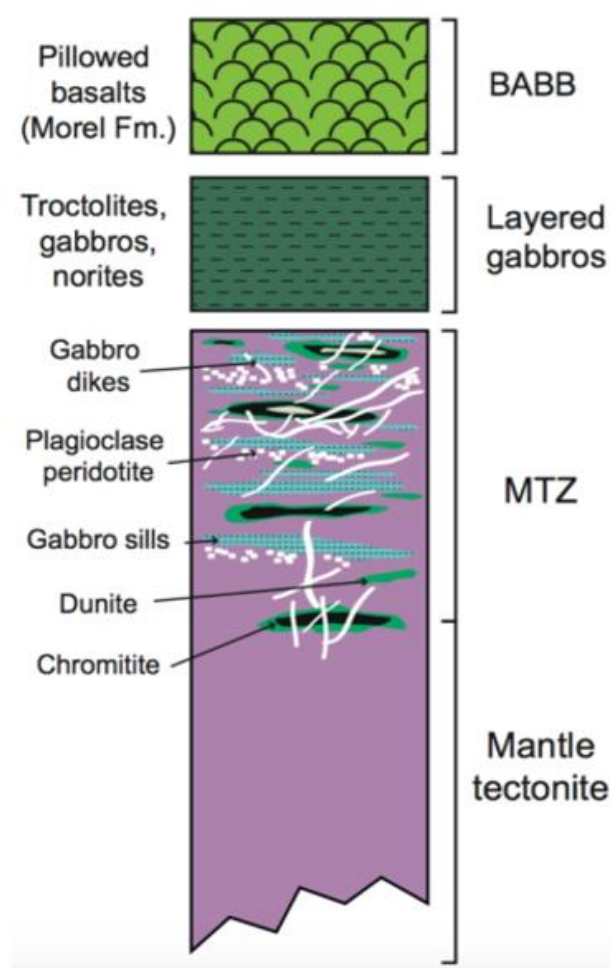


Figura 9. Esquema de la columna generalizada del macizo ofiolítico Moa - Baracoa (Proenza, J.A., 2018).

### 1.6. Características geológicas, geomorfológicas, tectónicas, geofísicas, hidrogeológicas y de la mineralización del área de los trabajos.

De acuerdo al mapa geológico a escala 1: 100 000 de la Hoja 5277 “Moa” (IGP-SGC, 2010), las rocas del basamento ofiolítico están distribuidas en una superficie superior al 90 % del área total emergida del territorio (Figura 9).

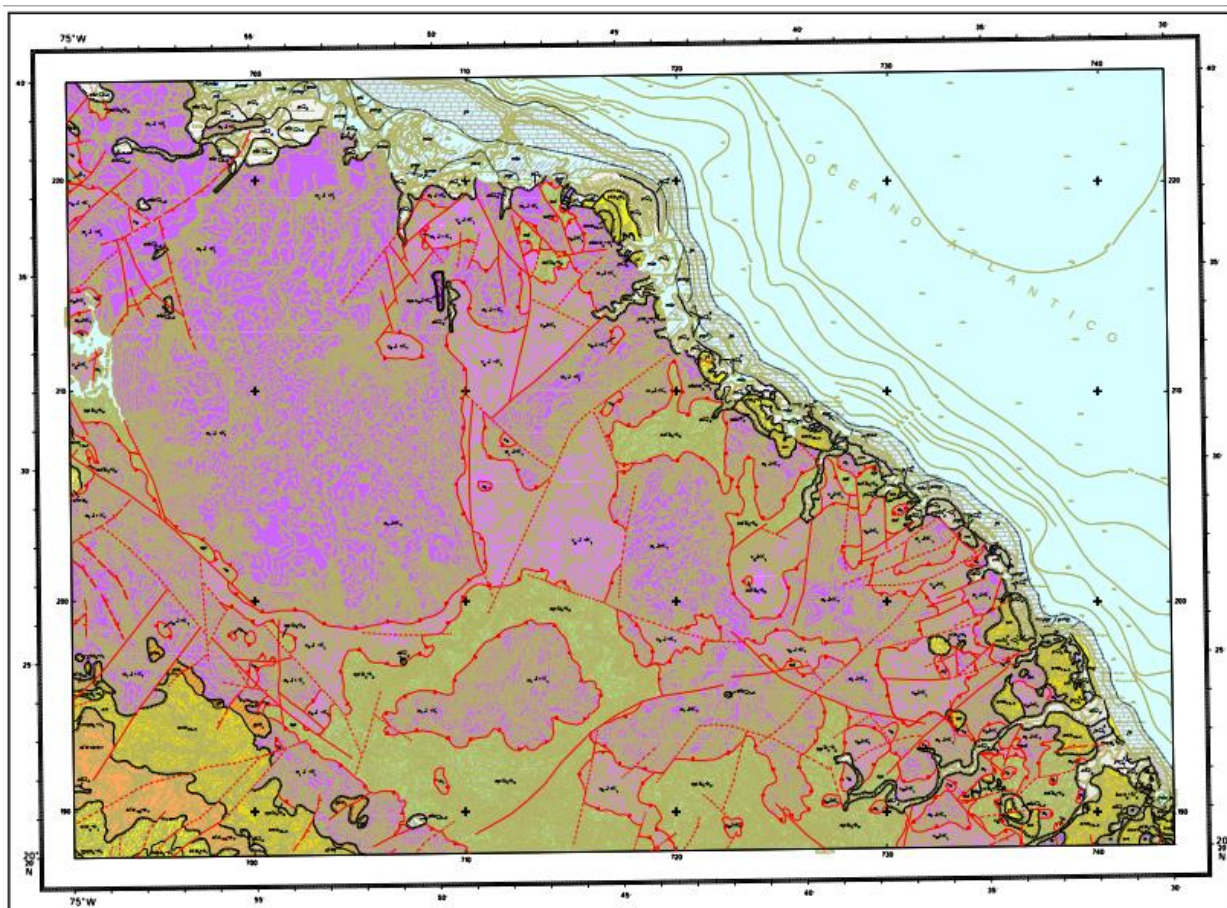
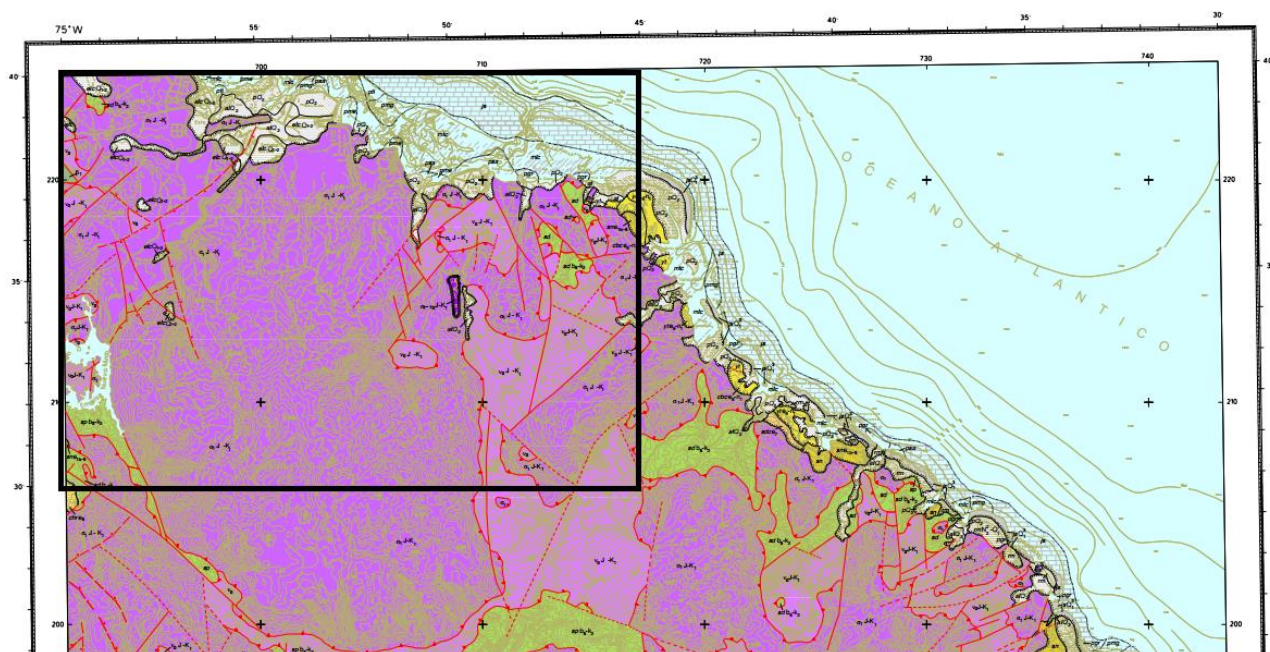


Figura 10. Mapa geológico a escala 1: 100 000 de la Hoja 5277 “Moa” (IGP-SGC, 2010).



**Figura 11. Esquema de ubicación del área de los trabajos en el Mapa Geológico a escala 1: 100 000 de la Hoja 5277 “Moa”. Fuente: IGP-SGC, 2010.**

En el corte ofiolítico se distinguen complejos de rocas representantes del manto superior, fragmentos de la zona de transición y de la antigua corteza oceánica, así como secuencias vulcanógeno – sedimentarias. Adicionalmente, en la región de Moa afloran otras unidades geológicas pertenecientes al AVP, así como unidades de edad Neógeno y Cuaternario. Todas estas unidades geológicas se describen a continuación:

**Complejo Peridotítico (tectonitas).** Lo constituyen harzburgitas y dunitas, en menor grado websteritas y lherzolitas, con bolsones aislados de dunitas, todas serpentinizadas. Raros diques de gabroides. Ocasionalmente cromititas podiformes. Estas rocas están usualmente muy deformadas y formando cuerpos potentes que afloran extensamente. Se estima un espesor de aproximadamente 1000 metros. En la región de Moa, este complejo aflora hacia la parte central y meridional y está constituido predominantemente por harzburgitas y dunitas con un grado de serpentización variable, sobre todo hacia los bordes de cuerpos, en los límites tectónicos de sobrecorrimiento, en las zonas de fallas interiores y en las zonas de contacto tectónico con las rocas máficas.

**Complejo Transicional.** Lo constituyen harzburgitas, lherzolitas y websteritas con bolsones y bandas duníticas, todas serpentinizadas, apareciendo ocasionalmente con cromititas podiformes. Gabroides como cuerpos y diques. Diques aislados de

plagiogranitos. En ocasiones se observan complejos haces entrecruzados de diques zonados de plagioclasitas, gabroides y pegmatitas impregnando una masa de serpentinitas brechosas. En la parte centro oriental de la región de Moa, además de dunitas, harzburgitas y sus serpentinitas, aparecen ultramafitas más piroxénicas (lherzolitas, wehrlitas y ortopiroxenitas olivínicas) y de manera subordinada, rocas máficas, como troctolitas, gabro olivínico, gabro normal, norita y otras (Torres-Zafra *et al.*, 2017).

**Complejo Cumulativo.** Constituido por cúmulos máficos (gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías) y ultramáficos (lherzolitas, websteritas, harzburgitas y raramente 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. Se estima un espesor de aproximadamente 500 metros. Los cuerpos de gabro tienen una estructura de grandes bloques y la mayoría de éstos se disponen en las zonas periféricas del complejo ultramáfico. En la región de Moa-Baracoa están representados dos tipos de gabros, los llamados gabros bandeados y los gabros masivos en las partes más altas del corte. Los gabros afloran siempre asociados a las serpentinitas, apareciendo en forma de bloques en las zonas de Quesigua - Cayo Guam, Mercedita, Centeno-Miraflores y Farallones-Caimanes.

**Complejo de diques de diabasas.** En la región de Moa, este complejo está muy mal representado, apareciendo las diabasas en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo. Según Iturralde Vinent (1998), en el macizo Mayarí-Cristal, 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 grados.

**Complejo volcánico - sedimentario.** Está representado por las rocas volcánicas basálticas de las zonas de Morel, La Melba y Centeno (Marchesi *et al.*, 2005). Estas rocas volcánicas han sido estudiadas detalladamente en la zona de Morel y referidas como Fm. Morel por Iturralde-Vinent *et al.* (2006). Esos autores le han asignado, sobre la base de datos paleontológicos, una edad Turoniano Tardío - Coniaciano. Los materiales incluidos en la Fm. Morel (en su sección tipo: zona de Morel, carretera Moa-Baracoa) fueron descritos anteriormente como pertenecientes

a la Fm. Quibiján por Kerr et al., 1999 (Iturralde-Vinent et al., 2006). Las rocas volcánicas están formadas por basaltos con estructuras de almohadilla, basaltos olivínicos e hialoclastitas. Esta secuencia tiene un espesor superior a los 160 m y está cubierta por una secuencia de 230 m compuesta de tobas andesíticas y basálticas, areniscas tobáceas y pequeñas intercalaciones de andesitas basálticas (Iturralde-Vinent et al., 2006).

Las rocas del Arco Volcánico del Cretácico (AVC), están representadas por la Fm. Santo Domingo y la Fm. Sierra del Purial, las que afloran en el extremo SW del área de estudio. La primera está constituida principalmente por tobas, lavas y aglomerados, apareciendo también pequeños cuerpos subvolcánicos de gabro-diabasas, diabasas hasta dioritas y dioritas cuarcíferas en forma de sills (Gyarmati et al., 1991). Asimismo, se incluyen en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo. Las tobas ocupan más del cincuenta por ciento de la formación, apareciendo en la parte superior preferentemente, siendo comunes las variedades cristalovitroclásticas y vitroclásticas. Las lavas aparecen en ocasiones con textura amigdaloidal, predominando las variedades porfiríticas, con una yacencia en forma de mantos interestratificados casi concordantes con las tobas. A menudo, junto con las lavas se observan aglomerados muy alterados de composición dacítica - andesítica. Se le asigna una edad Aptiano (Cretácico Inferior) – Turoniano (Cretácico Superior). El llamado Complejo Cerrajón representa el nivel de cuerpos subvolcánicos alineados de la formación Santo Domingo (Gyarmati et al, 1991), estando constituido por diques de diabasa, gabro-diabasas y microgabros sub-paralelos, aflora en un área que se extiende desde el río Moa hacia los alrededores de la Redonda, Caimanes Abajo, Caimanes Arriba, Cayo Grande, Conrado y Cayo Chiquito. El área de afloramiento de la Fm. Santo Domingo en la Hoja corresponde a las localidades de Farallones – Calentura y como pequeños afloramientos de tobas en la localidad de Centeno.

La Fm. Sierra del Purial, aflora en el extremo SW del área de estudio y está representada por un complejo de rocas volcánicas y volcanógeno – sedimentarias como andesitas, diabasas, tobas, areniscas tobáceas y tufitas, que han sufrido un proceso de metamorfismo de bajo grado y baja presión, encontrándose alteradas en las facies de esquistos verdes, transformándose en diferentes esquistos cristalinos. La edad de esta formación es Aptiano – Turoniano, por lo que es correlacionable con la Fm. Santo Domingo.

La Fm. Sabaneta es representante de la actividad volcánica del Paleógeno, constituida por rocas volcánicas - sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas o montmorillonizadas, con intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas y rara vez basaltos. Esta formación aflora en la zona de El Picao, La Ayuita, Amansaguapo y Farallones de Moa, observándose en el corte tobas vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, en menor grado argilitizadas, tufitas, calizas, radiolaritas, tobas vítreas y tobas cineríticas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación. La estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional. Según el *Léxico Estratigráfico de Cuba* (2013) la formación Sabaneta tiene una edad Paleoceno Inferior (Daniano, parte alta) - Eoceno Medio. El área de afloramiento de la región se extiende desde la localidad de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey. Son muy significativos las áreas de El Picao, La Ayuita y Farallones. En esta formación es típico la alteración de las tobas y la presencia de minerales del grupo de la montmorillonita (bentonita) y de las zeolitas. En las tobas, el promedio de vidrio volcánico es superior al 60%.

El neoautóctono, constituido por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas, depositadas en régimen de plataforma insular, aparece representado en la región por las formaciones Júcaro y Yateras que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por su yacencia monoclinas suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas, donde existen dislocaciones recientes.

La Fm. Yateras está constituida por calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de esta formación presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, conteniendo una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, que ha permitido asignarle una edad Oligoceno Superior - Mioceno Inferior, parte baja, aflorando en la zona de Yamanigüey, donde forma una franja por toda la línea costera.

Los depósitos cuaternarios están representados por la formación Jaimanitas, constituida por calizas organodetríticas con gran contenido de fauna, predominando los moluscos contemporáneos. Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos ubicados en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas,

arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial. El área de afloramiento lo constituye una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinua en las partes interiores. La edad de esta formación es Pleistoceno Superior, parte baja.

### 1.6.1. Tectónica.

Las dislocaciones de plegamiento que presenta la región son sumamente complejas (figura 12). En la secuencia más antigua se hace difícil el desciframiento de las meso-estructuras plegadas dadas la monotonía litológica que presenta, no obstante, los estudios realizados permiten afirmar que en las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y vulcanógenas) existen tres direcciones principales de plegamiento:

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

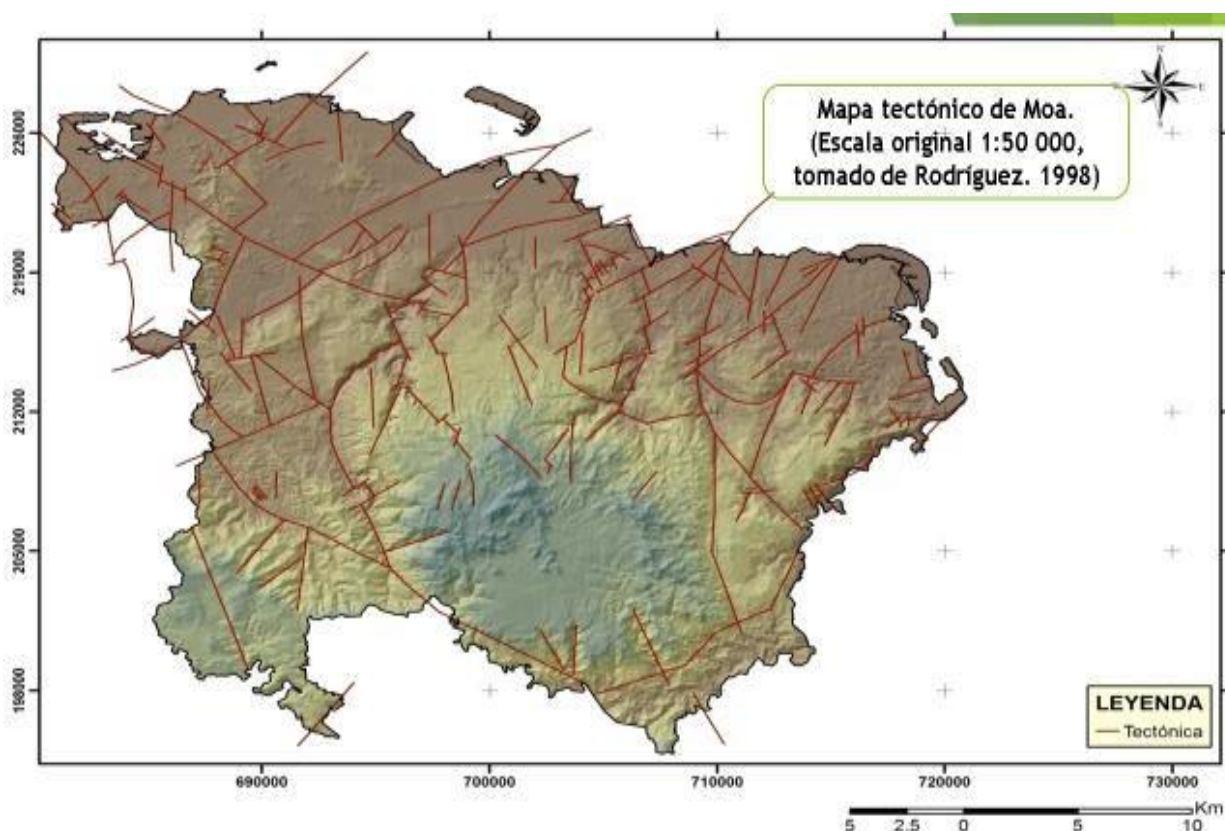


Figura 12 Mapa tectónico de Moa. Escala original 1:50 000, (tomado de Rodríguez, 1998).



## CAPITULO II - METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

### 2.1. Introducción

El presente capítulo aborda las diferentes etapas de la investigación, a partir de la información documental de los trabajos geológicos anteriores para la mineralización cromífera de la región.

### 2.2. Metodología de la investigación

La metodología empleada, se basa en tres etapas: preliminar, de recopilación de información, la de procesamiento y la etapa final de interpretación de los resultados. En la figura 13 se muestra el esquema de la metodología empleada:

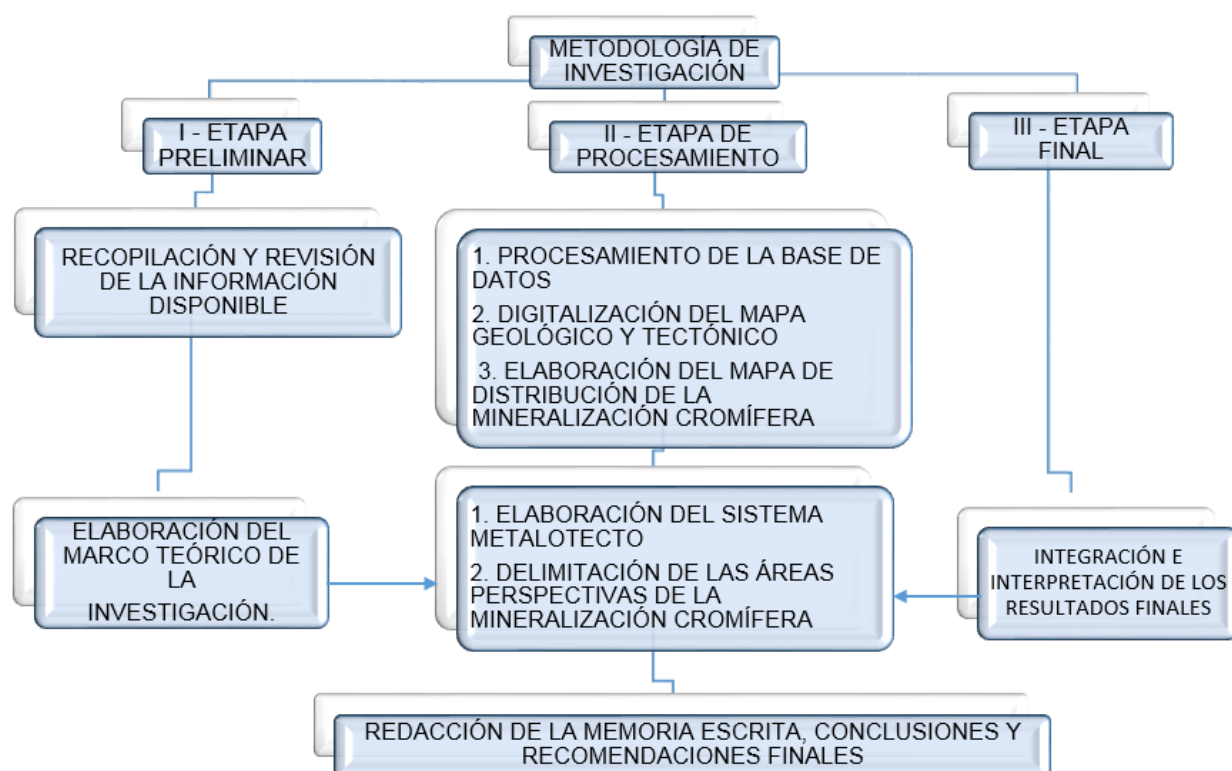


Figura 13. Metodología de las investigaciones desarrolladas

### **2.3. Etapa preliminar**

#### **Recopilación y revisión de la información precedente.**

En esta etapa se realiza el análisis de las bibliografías existentes de la región y del área de estudio, de la cual se extrae y se recopila la información útil para la investigación. Se consultaron los materiales que reflejan la existencia de mineralización cromíferas, de las bases de datos de recursos minerales disponible en el Geodato en el IGP-Servicio Geológico, así como también en la base de datos del Mapa Metalogénico recién publicado, los materiales del fondo geológico del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, la Revista Geología y Minería y el centro de información del instituto, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diplomas, tesis de maestría y doctorales, además de búsquedas sitios web de la INTERNET especializados en el tema.

Luego de haber desarrollado la búsqueda bibliográfica de dicha información, se comenzó a procesar, digitalizar e interpretar los datos obtenidos como parte de la memoria escrita del trabajo y también como documentos gráficos incluidos. Se obtuvo informaciones referentes a la descripción regional desde el punto de vista físico-geográficas, geológicas, topográficas y tectónicas. En esta etapa se confecciona el marco teórico (conceptual y contextual) de la investigación.

Esta consulta bibliográfica sirvió de base para el reconocimiento del objeto de estudio, crear el modelo descriptivo del área, orientar la investigación a la selección y aplicación del conjunto de métodos adecuados para el objetivo propuesto. La regularidad de la distribución de la mineralización cromífera se creó sobre la base de estas informaciones.

#### **Materiales y métodos utilizados**

Para lograr los objetivos propuestos y un desarrollo satisfactorio de esta investigación fue necesaria la utilización de informaciones de los trabajos antecedentes sobre la temática que se han desarrollado a lo largo de los años.

En esta se establecen las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera del área de estudio, se utilizó la información que brindó la base de datos concedida por IGP de los puntos donde hay manifestaciones de la mineralización cromífera de Moa en combinación con el mapa geológico 1:50 000 y otros mapas geológicos.

Se utilizó un archivo MDT (modelo digital del terreno) con los datos del relieve de Moa, que fue transformada en un archivo ráster para la confección de la topografía del área. La topografía del área se realiza con en el software Gemcom 1:50 000 durante la etapa de procesamiento.

La elaboración de mapas de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera, contribuyó al conocimiento de todos los rasgos geólogo-estructurales de la zona en cuanto este tipo de mineralización y permitió la elaboración de las regularidades de la distribución espacial y genética.

## **2.4. Etapa de procesamiento**

Con los datos de los análisis realizados durante la investigación documental, se procedió al procesamiento y análisis de la información la investigación mediante diversas herramientas informáticas como el Microsoft Word para el procesamiento de la información textual, el EndNotex4 y Mendeley para la organización y almacenamiento de la bibliografía utilizada, el Gemcom para la creación de la topografía del área de estudio, el Surfer para la confección de los mapas geológico con los puntos de mineralización en 2D y 3D, Microsoft Excel y Microsoft Access para la manipulación de los mapas para áreas más favorables.

El software Surfer 14, fue la herramienta básica que permitió demostrar de forma digital de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera con la ayuda del gestor de base de datos Microsoft Excel para la ubicación de los puntos de donde hay manifestaciones minerales. La etapa de procesamiento muestra las tareas a seguir para la determinación de regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera de la zona de estudio. Dentro de dichas tareas se les da respuesta a los objetivos específicos trazados en la investigación. A continuación se presentan:

### **a) Procesamiento de las bases de datos**

- Análisis de las bases de datos de depósitos minerales disponible en GeoDato, así como la base geológica actualizada del territorio de Moa.
- Creación e importación de las bases de datos en Surfer
- Digitalización de los complejos de rocas en polígonos y de las fallas en línea en el mapa geológico Moa 1:50 000 Hoja 5277-II (Gyarmati et al-1991)
- Creación de mapas geológicos.

- b) Elaboración del sistema de metalotectos para la mineralización cromífera en el sector de Moa.**
- c) Delimitación de las áreas perspectivas para la mineralización cromífera en el área de estudio**

#### **Procesamiento de la base de datos**

- **Análisis de los criterios de prospección, el registro de indicios de la mineralización cromífera y la existencia de actividad minera anterior.**

Antes del desarrollo de cualquier proyecto geólogo-minero es necesario la creación e inserción de la base de datos. Se analizaron los factores de prospección para esa mineralización en el área de estudio corroboradas por las informaciones que brindaron las bases de datos que provienen de muestras de los depósitos cromíferos de Moa. La base de datos se construye mediante una serie de tablas o ficheros relacionales, vinculadas a través de algunos campos claves.

El análisis de los factores de prospección, el registro de indicios de prospección de la mineralización cromífera y la existencia de actividad minera anterior permitió identificar los complejos de rocas en las ofiolíticas con manifestaciones de la mineralización cromífera. De 69 registros de manifestaciones y yacimientos que contiene la base de datos, se hizo una clasificación de la mineralización de la región de estudio.

#### **Los depósitos cromíferos se clasificaran en:**

- Manifestaciones
- Punto de mineralización
- Prospecto

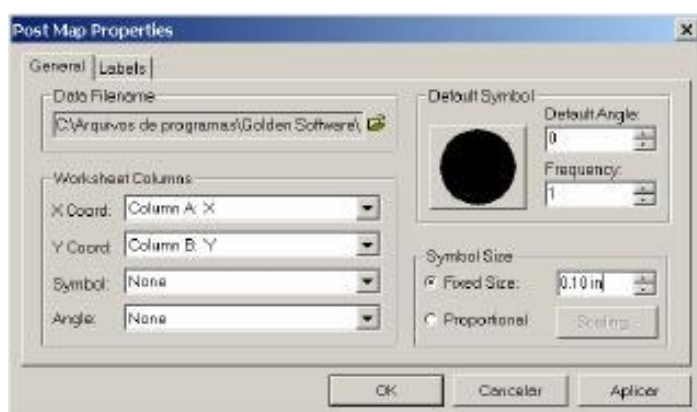
#### **Asimilación Industrial**

- Agotado
- Parcialmente explotado
- No explotado

#### **Perspectividad**

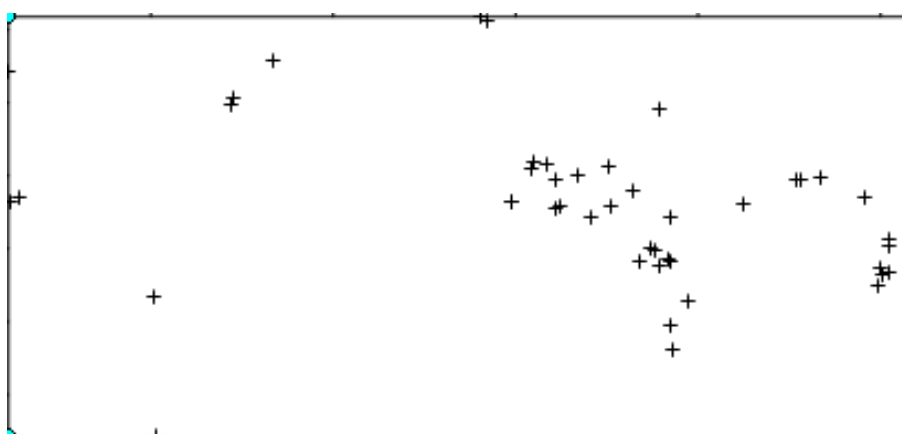
- Perspectivo
- Poco perspectivo





**Figura 16. Propiedades del Post Map, posición espacial de las muestras.**

Entre sus propiedades se definió el símbolo para los puntos, el tamaño y color e inclusive se rotularon los puntos con los nombres de las muestras, separando así las muestras por sus diferentes clases.



**Figura 17. Puntos de mineralización generado por Surfer.**

Los diferentes puntos de mineralización para su identificación fueron divididos en clases en diferentes símbolos y colores, por clasificación de los depósitos y perspectiva.

### **Por tipos de depósitos**

1. Los puntos en forma de circunferencia, en color rojo, los bordes en negro representan los prospectos.
2. Los puntos en forma de cuadrado, en color gris, los bordes en negro representan los puntos de mineralización.
3. Los puntos en forma de triángulo, en color amarillo, los bordes en negro representan las manifestaciones.

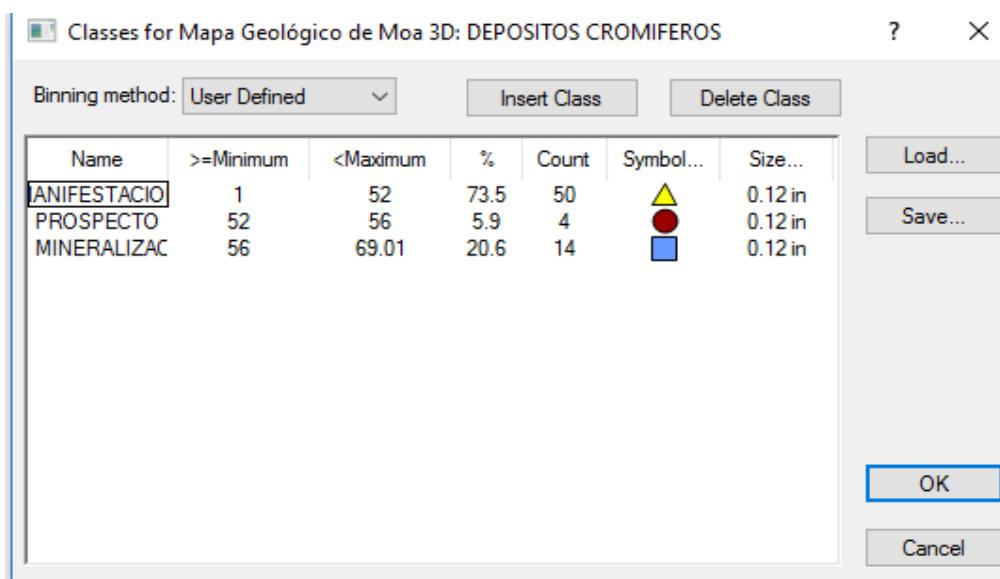


Figura 18. Clasificación de los puntos por símbolos y colores por tipos de depósitos.

#### Por perspectiva:

1. Los puntos en forma de circunferencia, de color rojo, los bordes en negro, representan los depósitos perspectivos para la mineralización.
2. Los puntos en forma de circunferencia, de color amarillo, los bordes en negro, representan los depósitos pocos perspectivos.
3. Los puntos en forma de circunferencia, de color azul claro, los bordes en negro, representan los depósitos no perspectivos.
4. Los puntos en forma de circunferencia, de color Azul, los bordes en negro, representan los depósitos sin datos de perspectiva.

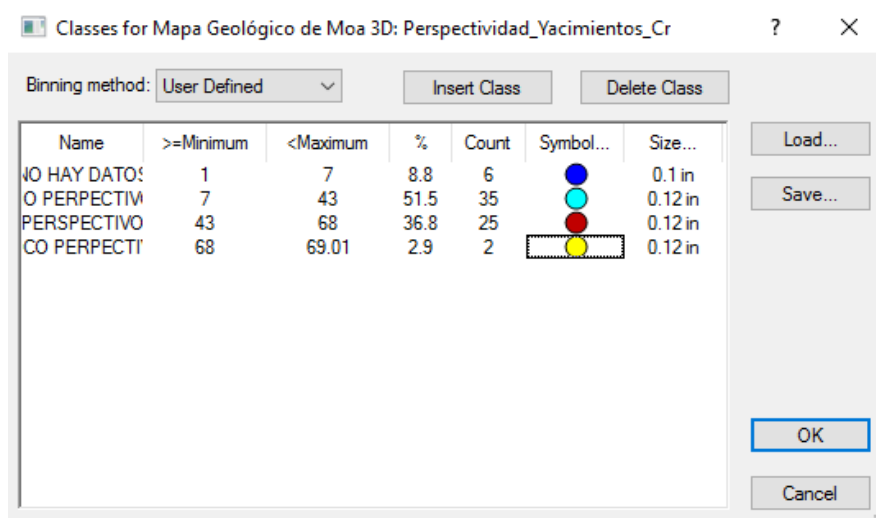


Figura 19 Clasificación de los puntos por símbolos y colores por perspectiva de depósitos.

### **Digitalización de los complejos de rocas por polígono y de las fallas por polilíneas en el mapa geológico Moa 1:50 000 Hoja 5277-II (Gyarmati et al-1991)**

Los polígonos geológicos y las fallas se confeccionan teniendo en cuenta la distribución de las polilíneas de representación de los complejos, formaciones y fallas, según su ubicación espacial.

Los pasos para digitalizar el mapa fueron los siguientes:

- Se seleccionó el mapa a digitalizar el mapa geológico Moa 1:50 000 Hoja 5277-II (Gyarmati et al-1991) que se cargó al Software usando el menú New Base Map
- Se georeferenciaron los dicho mapas usando cuatro puntos en Georeference image.

| ID | Source X   | Source Y   | Longitude   | Latitude   | Projected X(m) | Projected Y(m) | Error       |
|----|------------|------------|-------------|------------|----------------|----------------|-------------|
| 1  | 436.255252 | 1548.71315 | -74.9519635 | 20.6871658 | 696000         | 227000         | 1.11945641  |
| 2  | 1460.79502 | 1146.90961 | -74.7879111 | 20.6212485 | 713182.158     | 219910.628     | 1.67019506  |
| 3  | 309.363484 | 411.329386 | -74.9745167 | 20.506129  | 693880.525     | 206933.268     | 0.937934475 |
| 4  | 1505.77486 | 381.309973 | -74.7823043 | 20.4991338 | 713937.672     | 206400.933     | 1.48867312  |

**Figura 20. Imagen de la tabla con la base de datos de las coordenadas generadas por Surfer al georeferenciar el mapa.**

Después de georeferenciar el mapa se guardó para poder usarlo con los demás planos en un mismo sistema de referencia.

- De esta manera se pasó para la digitalización en polígonos usando en el menú Insert Polygon para crear polígonos con los diferentes complejos litológicos, formaciones geológicas y también los diferentes tipos de corteza de meteorización que se desarrollan en la zona.
- Se guarda lo digitalizado en archivo bln.  
FILE – SAVE AS  
archivo.blm (datos digitalizados)  
SAVE – CERRAR  
MAP – BASE MAP – archivo.blm: se puso a la escala del mapa 3D Surface

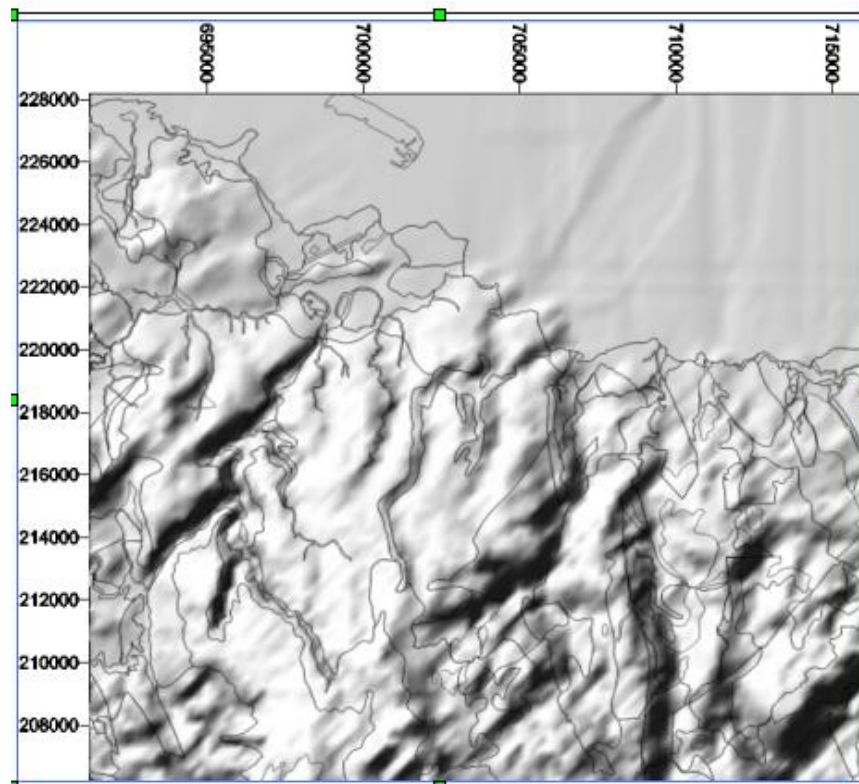


Figura 21. Imágenes de los polígonos de los complejos insertados en la base 3D Surface, después del proceso de digitalización.

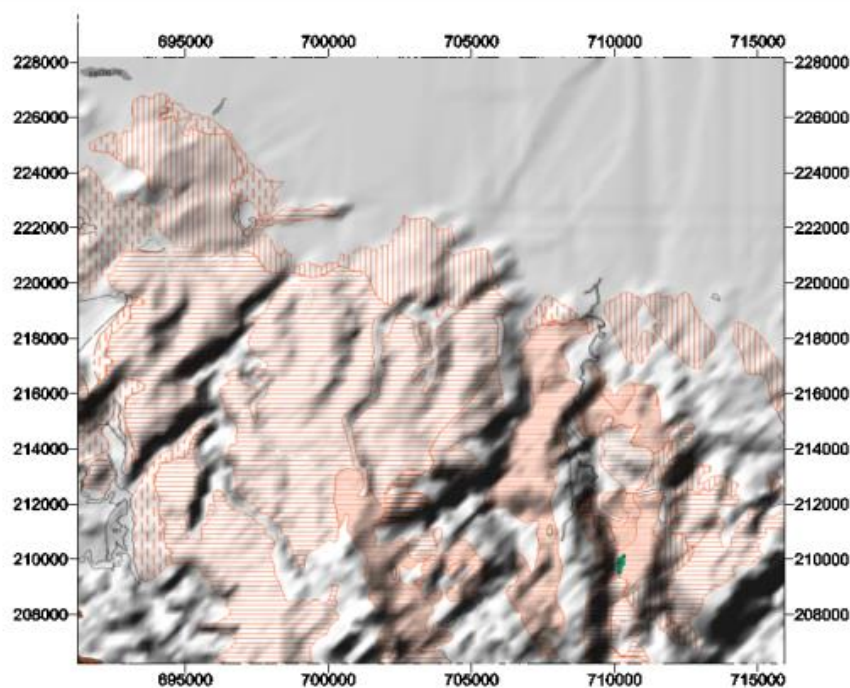
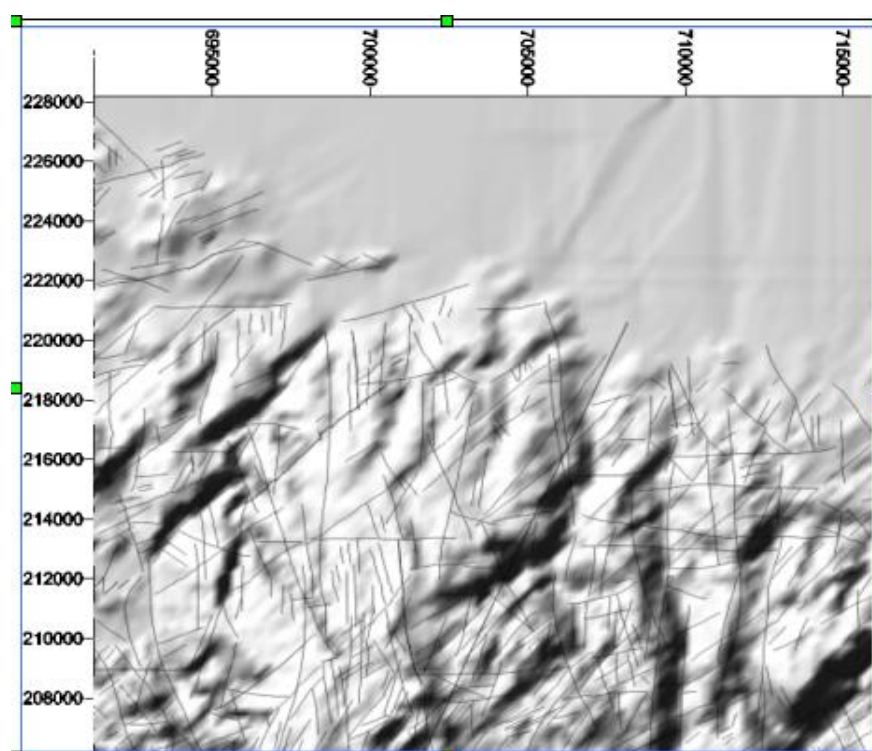


Figura 22 polígonos del desarrollo de la corteza de meteorización, insertados en la base 3D Surface, con sus símbolos respectivos después del proceso de digitalización.

- Para las fallas a diferencia de los polígonos, se digitaliza usando líneas del menú Insert, la Polilíneas para crear líneas de los diferentes tipos de fallas representado en el mapa.
- El otro paso es guardar lo digitalizado  
FILE – SAVE AS  
archivo.blm (datos digitalizados)  
SAVE – CERRAR  
MAP – BASE MAP – archivo.blm: se puso a la escala del mapa 3D Surface



**Figura 23. Polilíneas que representan las fallas insertadas en la base 3D Surface, con la simbología respectiva después del proceso de digitalización.**

### **Elaboración de mapas y modelos geológicos**

Con el levantamiento topográfico (X; Y; Z) de Moa con la escala 1:50 000 fue posible la creación del modelo digital del terreno (MDT). Para mejorar la visualización espacial del comportamiento de la variable (la mineralización cromífera), fue necesario crear una Superficie 3-D (wireframe), con el nombre "3D Surface-BD\_Total", al cual se le importaron los puntos (X; Y; Z) del MDT.

Todos los planos confeccionados fueron importados en esa base del mapa en 3D, el mapa de los contornos topográfico de Moa, los polígonos con los diferentes complejos litológicos, formaciones geológicas y también los diferentes tipos de

corteza de meteorización que se desarrollan en la zona, las polilíneas de las fallas y de los ríos, se importaron en el mismo sistema de referencia, el Sistema Lambert (Cuba Sur), para así sobreponerlos en la superficie 3D para una mejor visualización espacial e interpretación de la distribución de la mineralización cromífera.

Para visualizar los polígonos donde están representados la asociación ofiolítica de Moa en complejos litológicos, las formaciones geológicas sedimentarias y vulcanógenas y también los diferentes tipos de corteza de meteorización que se desarrollan en la zona, se definió el esquema de colores que están en la norma cubana NC 622-2: 2012, por su tipo genéticos y edades geológicas. Así se precedió también para visualizar las polilíneas (las fallas), se definió el color, las formas y tamaños, por el tipo de contacto y si es seguro o inferido.

### **Elaboración del sistema de metalotectos para la mineralización cromífera en el sector de Moa.**

De acuerdo a los factores, rasgos, datos, condiciones, antecedentes, visible que indican, de manera directa o indirecta la existencia de la mineralización cromífera, reflejada en el mapa de distribución espacial y genética, se estableció un sistema metalotectos locales fundamentales para la mineralización cromífera del sector.

### **Metalotectos Litólogo-estructura, petrológicas, geoquímicas y mineralógicas**

1. Metalotecto positivo
2. Metalotecto negativo

### **Delimitación de las áreas perspectivas para la mineralización cromífera en el área de estudio**

A partir de los mapas de distribución espacial y genético de la mineralización cromífera, el sistema metalotectos elaborado y las informaciones que brindan las bases de datos concedida por IGP, se procedió con la delimitación de los lugares más favorables de la zona.

## **2.5. Etapa Final**

Después de establecida la distribución espacial de la mineralización cromífera, la etapa de interpretación y elaboración de la memoria escrita, donde se utilizan los mapas geológicos, para comprender y explicar las regularidades de la distribución

espacial y genética del objeto de estudio. La conformación de la memoria escrita consiste en plasmar todos los aspectos esenciales de la investigación, para ello se utilizó el programa computacional Microsoft Word 2013.

La memoria escrita quedó conformada por tres capítulos, el Capítulo I que plasma lo relacionado con las características físico-geográficas y geológicas de la región de estudio. El Capítulo II, presenta la metodología que se utilizó durante la determinación de las regularidades de la distribución espacial y genética, así como los materiales y métodos que se utilizaron para su confección.

El Capítulo III, constituye las interpretaciones geológicas de los aspectos geológico estructurales de la región que hacen de él tan interesante y complejo.

### **CAPITULO III. REGULARIDADES DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y GENÉTICA DE LA MINERALIZACIÓN CROMÍFERA EN MOA**

#### **3.1. Introducción**

Se establecen la distribución espacial y genética de la mineralización que permitió conocer sus regularidades. Se presenta la interpretación de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera a través de los mapas geológicos 2D y 3D con la representación de los puntos de mineralización representados, y análisis de factores de prospección, el registro de indicios de mineralización cromífera y la existencia de actividad minera anterior.

En Moa-Baracoa se han reportado alrededor de 100 ocurrencias de cromititas, muchas de ellas vinculadas a la zona de transición cercana al contacto tectónico entre gabros y peridotitas que se dispone en forma de fajas a lo largo de varios kilómetros (Rodriguez et al. 1992).

Los cuerpos cromíticos de la región son ricos en Al mayoritariamente suelen estar restringidas a la zona de transición manto–corteza, o *Moho Transition Zone* (MTZ), próximas a los niveles de gabros bandeados de la base de la corteza plutónica. Referenciado por (Henares et al. 2010) de (Leblanc y Violette, 1983; Proenza et al., 1999a, 1999b).

#### **Tipos de rocas asociadas**

Las cromititas son del tipo ofiolíticas. Aparecen "estratigráficamente" situadas desde la parte alta de las tectonitas hasta el tope de la llamada zona de transición o "impregnación" (Proenza et al. 1998). La mayoría de los investigadores consideran que la asociación ofiolítica en Moa-Baracoa es un enorme manto alóctono que está cubierto transgresivamente por depósitos de las formaciones "Mícara" y "La Picota" (Iturralde-Vinent, M., 1994).

En los afloramientos de la asociación ofiolítica, principalmente en sus complejos peridotíticos, predominan las harzburgitas sobre el resto de las demás litologías máficas y ultramáficas, lo que ha sido corroborado por varios investigadores (Fonseca, E. et al., 1991). De acuerdo con Leblanc, M. y Nicolas, A. (1992) este tipo de macizo se clasifica como: harzburgítico (Muñoz Gómez, J.N., 1997).

Se ha podido demostrar que en las litologías del complejo ofiolítico en la región de Moa - Baracoa predominan las texturas brechosas, por lo que se considera por

varios autores que las litologías afloradas, dado su alto grado de fracturación, representan una gran brecha (Iturralde-Vinent, M., 1994). El resto de las litologías de los cúmulos ultramáficos está representado por dunitas serpentinizadas, dunitas enstatíticas, wehrlitas y lherzolitas serpentinizadas y en menor grado peridotitas plagioclásicas.

El complejo cumulativo máfico está representado por gabros normales, gabros olivínicos, gabro-noritas y noritas (Fonseca, E. et al., 1991). Como litología más joven y cortante al resto de las litologías máficas y ultramáficas se tiene a los diques de gabropegmatitas los que presentan grandes cristales de enstatita y anortita, siendo más numerosos cuando se asocian a la mineralización cromífera (Guild y Albear, 1947), (Muñoz Gómez J.N. y Campos Dueñas, M., 1992).

El emplazamiento de las ofiolitas y su procedencia desde su constitución como antigua corteza oceánica hasta su posición actual es aun uno de los problemas geológicos en los que se presentan diferentes puntos de vista. Como ha sido señalado, las concepciones iniciales de su formación y emplazamiento se concibieron como intrusiones máficas y ultramáficas vinculadas con el primer estadio del geosinclinal cubano (Adamovich, A. y Chejovich, V., 1963).

### **Escenario Tectónico**

La tectónica de la región es compleja, se pone de manifiesto la superposición de fenómenos tectónicos originados en condiciones geodinámicas contrastantes y en diferentes períodos, así el sistema de mantos tectónicos y el intenso plegamiento que caracterizan la estructura geológica de las secuencias más antiguas surgieron en un ambiente de compresión máxima. (Rodríguez, 1998)

En contraposición a esto los eventos tectónicos más jóvenes surgieron en lo fundamental, bajo la acción de esfuerzos de tracción de la corteza terrestre, estos esfuerzos han originado sistemas de fallas que dividieron la zona en una serie de bloques hørsticos y gravens que enmascararon las estructuras más antiguas. Por otra parte los movimientos de traslación horizontal que provocan el desplazamiento de los mantos tectónicos de Cuba Oriental fueron de gran magnitud, principalmente para las serpentinas que forman una unidad alcotana. Tomado de (Lualí 2005).

### **Ambiente geológico de formación**

Las menas cromíferas que conforman el sector se formaron como producto del proceso de diferenciación magmática de un magma de composición primaria ultrabásica en el que se segregaron el olivino y las espinelas cromíferas y otros minerales acompañantes. El proceso de diferenciación y solidificación originó un cuerpo podiforme de menas cromíticas, recubierto en todo su contacto por una envoltura dunítica que separa al cuerpo cromífero de las peridotitas serpentinizadas del complejo. Las dislocaciones tectónicas afectaron la yacencia original de todas las rocas en conjunto producto a los procesos de cabalgamiento y emplazamiento del complejo ofiolítico en la zona superior de la corteza (Cala 2016).

### **Edad de la mineralización**

El proceso inicial de diferenciación magmática del magma ultramáfico se corresponde con una edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior en el transcurso del desarrollo del riftogénesis donde se formó una corteza oceánica de un mar marginal en el Margen Continental pasivo de la placa norteamericana. La continuidad del episodio de obducción-emplazamiento de la antigua corteza oceánica (Asociación Ofiolítica) sobre los sedimentos de la plataforma ocurrió a partir del Cretácico Superior después del desarrollo del Arco de Isla Vulcano - Plutónico, como consecuencia de la subducción de la placa del caribe por debajo de la placa norteamericana.

El fallamiento y la penetración de diques de gabro es el evento geológico más joven corresponde con los procesos de cabalgamiento y emplazamiento del complejo ofiolítico. El proceso de obducción terminó en el Eoceno Medio. Es por ello que los yacimientos de cromitas y sus rocas de caja se encuentran a pocos metros de la superficie e incluso pueden aflorar. El emplazamiento tectónico de la Asociación Ofiolítica tiene significado funcional determinante para la distribución y control de las mineralizaciones de cromita (Cala 2016).

### **Caracterización Petrográfica y geoquímica**

La composición de la cromita de los cuerpos de cromitita del Complejo Ofiolítico de Moa Baracoa es muy rica en aluminio. Los análisis más precisos para la identificación de las espinelas es la microsonda electrónica; En la tabla 4 tomada de (Muñoz, 2015) se recogen resultados analíticos de dos yacimientos de Moa.

**Tabla 4. Valores medios de las menas masivas de varios yacimientos de génesis podiforme. Valores de (Gómez 2015). Todos los valores en por ciento en peso. [Análisis por microsonda electrónica de barrido]. (SEM).**

| Yacimientos Cromíferos | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | MgO   | TiO <sub>2</sub> | MnO  | Total |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|------------------|------|-------|
| Cayo Guan              | 40.75                          | 26.98                          | 15.99 | 14.93 | 0.29             | 0.21 | 99.13 |
| Potosí                 | 39.98                          | 22.83                          | 22.09 | 13.01 | 1.06             | 0.27 | 99.24 |

Como puede observarse los contenidos de los óxidos principales se mantienen en un determinado intervalo. Las menas refractarias de los yacimientos de Moa presentan contenidos próximos al 40% de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El contenido de TiO<sub>2</sub> en las menas masivas del yacimiento Potosí, Moa, son de las más altas reportadas para menas asociadas a los complejos ofiolíticos. (Muñoz Gómez 2015).

El ortopiroxeno, clinopiroxeno y la espinela cromífera son los minerales de las ultramafitas, contienen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; el promedio de las dunitas es 0,35 % y 0,89 % en las harzburgitas y 1,5 – 3,6 % de origen Ofiolítico (Coleman, R.G. 1977). El contenido de aluminio de las ultramafitas analizadas en el territorio mapeado, es generalmente muy alto, en especial en casos de las dunitas (1,96 – 5,25 %), probablemente refleja la alteración, y formación de minerales arcillosos. A veces las harzburgitas y lherzolitas tectónicas coinciden bien con los valores promedios conocidos en la literatura. (Gyarmati y O'conor 1990).

### **Controles de las menas**

El control de la mineralización de las menas es magmático y tectónico, es decir, su ubicación espacial está relacionada con el Complejo Ofiolítico, que representa restos de la antigua zona de transición entre la porción superior del manto y la base de la antigua corteza oceánica. (Cala 2016).

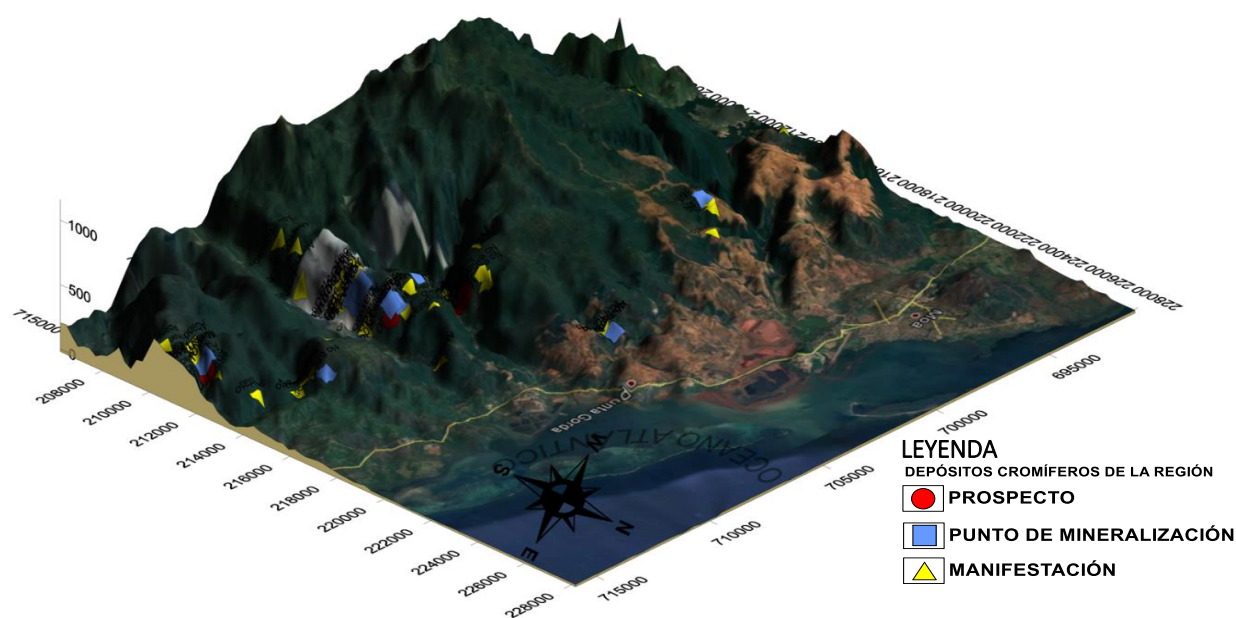
### **Manifestaciones y yacimientos minerales asociados.**

Además de los extensos y ricos depósitos de níquel y cobalto que se localizan en la corteza de intemperismo que recubre gran parte de las ofiolitas de la región nororiental de Cuba, se localizan un gran número de manifestaciones y pequeños yacimientos de cromitas. Tal es el caso de la antigua Mina Mercedita, localizada al Sur de Moa y que actualmente está cerrada (CESIGMA S.A., 1999).

Todas estas manifestaciones se asocian a cuerpos de dunitas de gran extensión de la zona de transición del corte ofiolítico. Estudios preliminares han evidenciado la posible presencia de metales del grupo del platino asociados a las menas cromíticas. Pequeñas manifestaciones de sulfuros han sido reportadas en algunos complejos de gabros y en zonas de fallas que cortan a las peridotitas serpentinizadas, así como diferentes variedades de otras rocas principalmente gabros, diabasas y serpentinitas han sido empleados como materiales de relleno en las vías de comunicación y para otros usos (CESIGMA S.A., 1999).

### 3.2. Análisis e interpretación

El software Surfer brinda la posibilidad de resaltar en colores y designar el nombre o edad de los complejos y demostrar las áreas más favorables para la prospección. Para mejorar la visualización espacial del comportamiento de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera del sector, a partir los interesantes resultados obtenidos en los mapas geológicos, tectónicos y de yacimientos minerales, columnas y perfiles regionales así como el desarrollo de variadas hipótesis sobre la evolución geológica se logró demostrar en mapas 2D y 3D algunos de esos rasgos.



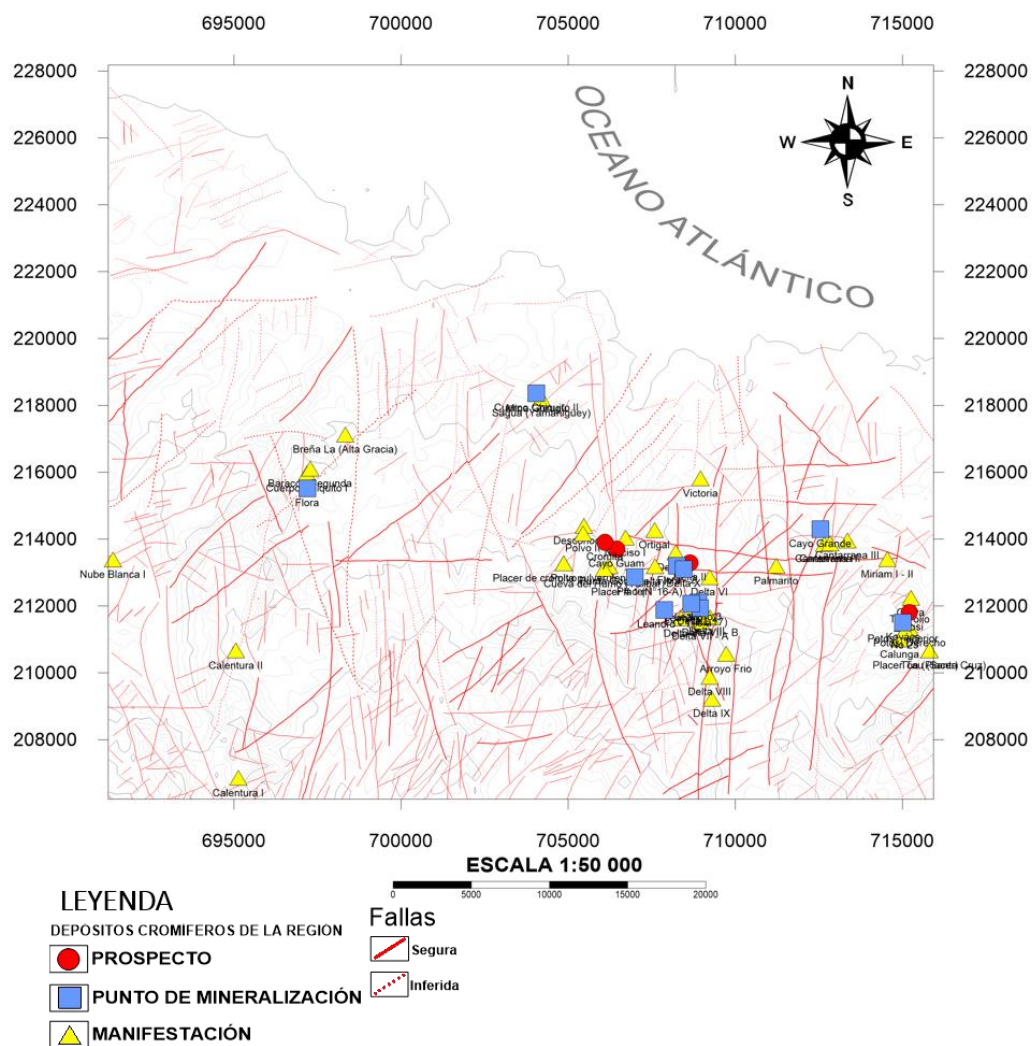
**Figura 24. Imagen satelital 3D de la región de Moa, con la ubicación de los puntos de mineralización cromífera.**

Para el estudio del objeto y para alcanzar los objetivos trazados, se representan mapas geológicos superpuestos por diferentes planos que representan los criterios

y evidencias de la distribución espacial de la mineralización cromífera. Se representaran los diferentes planos de los mapas en superficie 2D y 3D para mejor representación de los rasgos geólogo-estructurales y su interpretación.

### 3.2.1. Relación entre la estructura tectónica y la mineralización cromífera

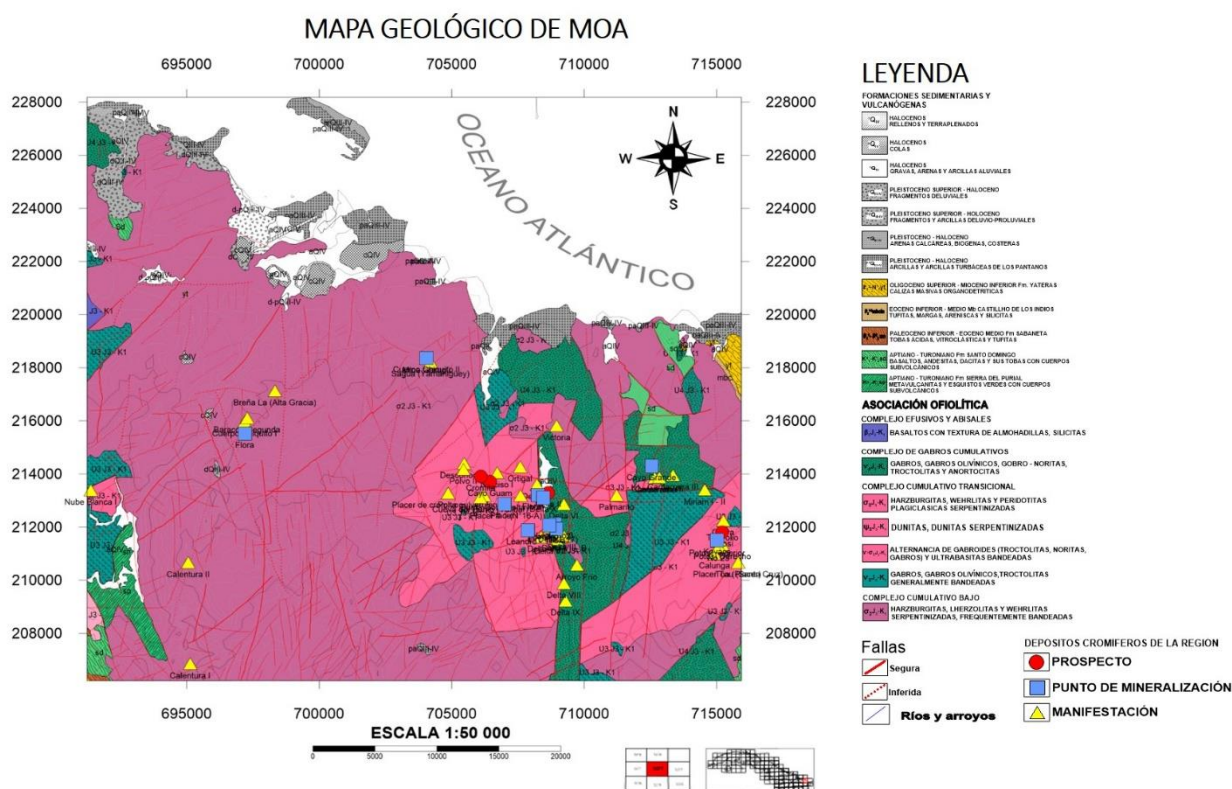
En el área de estudio se manifiesta un esquema estructural muy complejo, donde se vincula eventos geológicos de épocas y carácter diferentes, los cuales han originados y/o provocado la destrucción o formación de una mineralización determinada. En la figura 26 podemos observar la complejidad de la tectónica de la región, se pone de manifiesto la superposición de fenómenos tectónicos originados en condiciones geodinámicas contrastantes y en diferentes períodos.



**Figura 25. Esquema de la distribución de la mineralización cromífera y la tectónica de la región.**

Para establecer una mejor relación entre la estructura tectónica y la mineralización examinamos la mineralización (Gyarmati y O'conor 1990):

Los cuerpos o menas de Cromitas significativos pertenecen a la zona de transición o segundo nivel (Fonseca, E.), los cuales tienen su origen en el desarrollo magmático temprano (segregación) y como consecuencia de la formación de la asociación ofiolítica.



**Figura 26 Mapa geológico de la región de Moa con la ubicación de los depósitos de cromíferos.**

Las menas de cromitas por lo general están afectadas por la tectónica. Las estructuras tectónicas disyuntivas (fallas, diaclasas), así como las estructuras plicativas, originadas durante el Cretácico Inferior al Eoceno Medio, han jugado un papel significativo en la posición actual de muchos yacimientos y manifestaciones en las áreas meníferas. (Gyarmati y O'conor 1990).

La Zona de la Melba está afectada por fallas compresivas que provocaron el acercamiento de zonas productivas con zonas menos productivas, y en los propios yacimientos las fracturas provocan la separación de los cuerpos minerales en bloques (Ejemplo Cayo Guam-Cromitas). Además, se ha podido determinar que esta mineralización se localiza esencialmente en los flancos de estructuras

antiformas y en ocasiones a esta zona se asocian minerales de origen hidrotermal (millerita, calcopirita y otros), lo que atestigua que la mineralización cromífera es afectada por procesos postmagmáticos. Genéticamente están asociadas al periodo Jurásico Superior-Cretácico Inferior, en zonas profundas que afloran en la actualidad por los efectos de la orogenia Subherciniana. (Gyarmati y O'conor 1990).

En este nivel de mineralización con las rocas encajantes de la asociación ofiolítica tienen un papel muy importante los mantos tectónicos, que forman un mosaico desordenado en el territorio, los cuales fueron delimitados como áreas perspectivas (Potosí, Cayo Guam).

### 3.2.2. Geomorfología

En todo el territorio predomina el drenaje detrítico y, en mucho menor grado, aunque no por eso menos importante, el drenaje endorreico o cársico. Otras áreas muy perspectivas son las desembocaduras de los ríos, los cuales constituyen índices para la búsqueda de placeres.

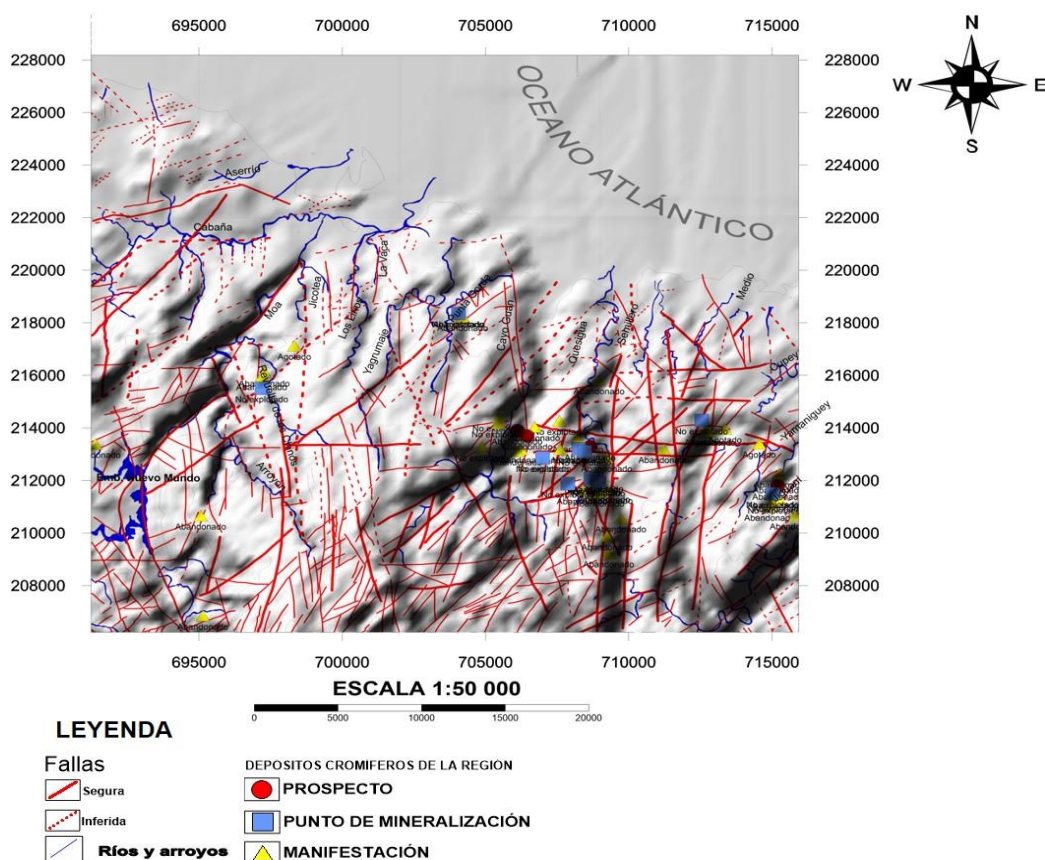
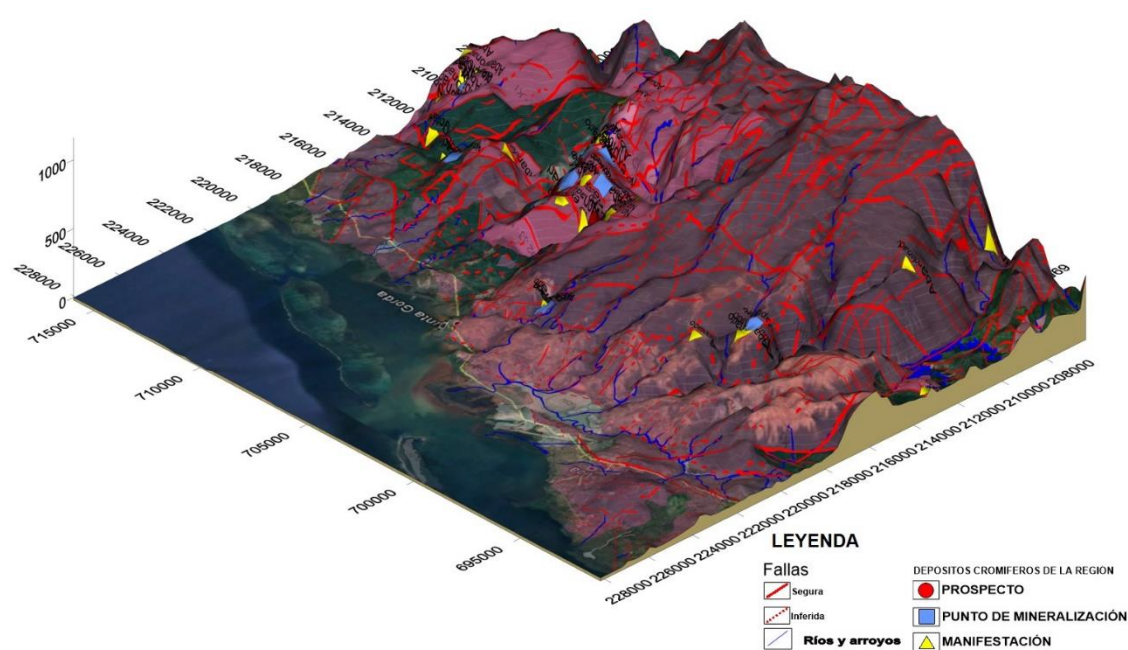


Figura 27. Esquema de la relación de la distribución de la mineralización cromífera, tectónica y la red hidrográfica de la región de estudio.

De forma general, podemos resumir que, el comportamiento y configuración de la red fluvial, en el territorio, obedece a la compleja estructura geológica de la región, controlados fundamentalmente por la intensidad de los movimientos tectónicos y neotectónicos de la región, así como su distribución litológica.

El sector en estudio presenta un alto grado de desmembramiento del relieve de forma general, provocado por los movimientos de levantamiento general, intensificándose los procesos erosivos y denudativos, que actúan directamente en el modelado del relieve. (Gyarmati y O'conor 1990).

Desde el punto de vista morfoestructural, en el territorio se puede observar las diferentes zonas de llanuras y montañas, con sus características particulares que determinan la regionalización geomorfológica del territorio (Figura 29).



**Figura 28. Representación de la imagen satelital 3D del relieve, la red hidrográfica, fallas principales y la distribución de la mineralización cromífera de la región de estudio.**

El territorio de Moa presenta una densa red fluvial, determinando su desmembramiento y continuidad de los procesos de erosión, lo que constituye un reflejo de la complejidad geológica de la región. Los principales valles fluviales coinciden con fallas establecidas o zonas de alineación tectónica, en estos casos, la profunda erosiva de los ríos se corresponde con la amplitud de los sectores de

levantamiento neotectónicos, por lo que consideramos que el factor tectónico constituye el principal controlador de la configuración y distribución de la red fluvial.

En resumen, los alineamientos del relieve actual están en estrecha vinculación con la actividad tectónica antigua y reciente a que se ha sometido todo el territorio.

### **3.2.3. Relación entre la corteza de intemperismo y la mineralización cromífera**

Las rocas que constituyen el basamento ofiolítico de la región de Moa son peridotitas piroxénicas: harzburgitas y dunitas con diferentes grados de serpentinización. La mineralización cromífera está vinculada genéticamente con las rocas duníticas, mientras que los depósitos lateríticos de Ni y Co que predominan en el área de estudio, se han desarrollados sobre las rocas máficas y ultramáficas serpentinizadas de la asociación ofiolítica.

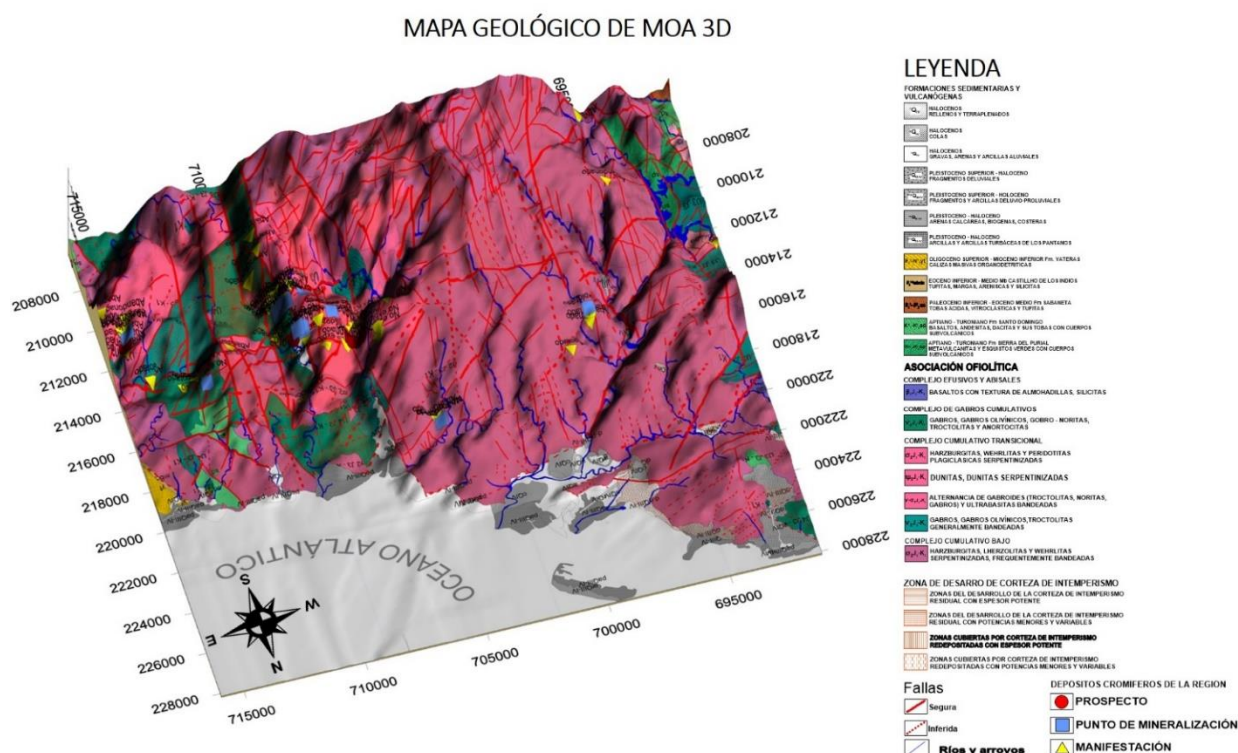
La presencia de cortezas de meteorización laterítica dificulta la aflorabilidad de los cuerpos de cromitas y constituye uno de los factores geológicos negativos que limitan el establecimiento de áreas pronósticos para el desarrollo de proyectos de prospección.

En la figura 30 se muestra la distribución de las áreas de desarrollo de las cortezas de meteorización lateríticas, tanto in situ como redepositadas sobre rocas máficas y ultramáficas serpentinizadas, con diferentes grados de espesor.



Como se observa en la figura 30, en la región de Moa existe predominio del desarrollo de corteza de meteorización con espesor potente. La zona con mayor concentración de la mineralización cromífera coincide con el desarrollo de corteza de meteorización residual de potencias menores y variables, con alturas sobre el nivel del mar entre 100 - 300 m, constituyendo una de las limitantes para establecimiento de áreas perspectivas de la mineralización cromífera. No obstante, en algunos sectores se puede pronosticar la presencia de cuerpos minerales cromíferos por la presencia de altas concentraciones de cromitas con carácter flotante dentro de los perfiles de meteorización laterítica. (Fuente: del autor).

En la figura 31 se representa la relación espacial de la mineralización cromífera con la red hidrográfica y los factores tectónicos, geomorfológico y el desarrollo de la corteza de meteorización en el área de estudio.



**Figura 30. Esquema en 3D de la tectónica, la red hidrográfica y la corteza de intemperismo que se desarrolla en la región.**

El desarrollo de potentes cortezas de meteorización laterítica sobre rocas máficas y ultramáficas de la asociación ofiolítica, ha originado depósitos importantes de hierro, níquel y cobalto, pero ha limitado la aflorabilidad de las rocas del basamento litológico y por tanto, dificulta el mapeo, documentación geológica y cartografiado de los diferentes complejos litológicos presentes en el área de estudio.

### 3.2.4. Sistema de Metalotectos

Las investigaciones geológicas pretéritas de la mineralización cromífera en la región de Moa permitieron el descubrimiento de manifestaciones y depósitos importantes de menas cromíferas refractarias, algunos de los cuales han sido explotados y sus reservas están agotadas, otros están parciamente explotados o se encuentran en diferentes fases de la prospección y exploración geológica.

La actividad de extracción minera en la región de Moa desde hace algunos años se encuentra paralizada, por lo que su redimensionamiento a partir de la actualización y el pronóstico científico de nuevas áreas perspectivas para este tipo de mineralización, puede contribuir a la reactivación de este sector como aporte al

desarrollo económico del país. Para la delimitación de zonas favorables para la mineralización cromífera, se emplearon los metalotectos siguientes:

### **Metalotectos Locales:**

3<sup>er</sup> orden: mapa a escalas 1:50.000

### **Metalotectos Positivos**

- **Metalotectos litológico - estructurales, petrológicos, geoquímicos y mineralógicos**

- Los cuerpos o menas de Cromitas pertenecen a **la zona de transición**, por lo general están afectadas por la tectónica.

- **Metalotectos Negativos**

Teniendo como fundamento teórico las concepciones sobre el origen, composición y emplazamiento de la asociación ofiolítica y la posición de la mineralización cromífera en relación con el corte teórico de la antigua litósfera oceánica, existen factores geológicos negativos que impiden o limitan el establecimiento de áreas pronósticos para el desarrollo de proyectos de prospección en la región de Moa – Baracoa. Estos factores negativos se relacionan a continuación. (Referido por Muñoz - Gómez, J.N., 1994):

- Los trabajos de levantamiento geológicos regionales a escala 1: 50 000 si bien han posibilitado esclarecer las relaciones litológicas entre los diferentes complejos de la asociación ofiolítica y de estos con las secuencias vulcanógeno-sedimentarias del arco volcánico del Cretácico (AVC) y las litologías de las formaciones Mícará y La Picota, así como otros problemas petrológicos y estructurales, no han permitido cartografiar la diferenciación litológica de los complejos cumulativos máficos y ultramáficos existente en esta región.
- El emplazamiento alóctono de la asociación ofiolítica en su actual posición, mediante complicados procesos de obducción de la antigua litósfera oceánica, perturbó y dislocó la **yacencia primaria de las litologías de la asociación ofiolítica y de la mineralización cromífera asociada**. En ese sentido, es necesario destacar las consideraciones expuestas por Iturralde-Vinent por la incidencia que tienen en la prospección de la mineralización cromífera: “... *Los macizos de ofiolitas usualmente están intensamente deformados debido a la*

*acción de múltiples eventos tectónicos. Quien observa la representación de las ofiolitas en los mapas geológicos puede crearse la falsa impresión, a primera vista, que se trata de potentes macizos internamente poco dislocados, pero la realidad es completamente distinta. Por lo general es muy difícil encontrar afloramientos extensos de rocas poco deformadas, pues las ofiolitas son rocas brechosas con texturas muy variables, cuyos bloques han sufrido toda clase de rotaciones y deformaciones... las deformaciones de los macizos de ofiolitas a menudo destruyen gran parte de las estructuras primarias y relaciones originales entre los distintos tipos de litologías...”(Tomado de Iturralde-Vinent, M., 1994).*

- Desplazamientos horizontales, fallamiento, plegamiento y serpentización de las litologías máficas, ultramáficas y de la mineralización cromífera asociada, posteriores al emplazamiento alóctono, lo que ha complicado aún más la actual posición de la asociación ofiolítica respecto a las secuencias vulcanógeno-sedimentarias del arco volcánico del Cretácico y las secuencias flyschoides y olitostrómicas de las formaciones Mícara y La Picota, respectivamente. En la región de Moa - Baracoa es una regularidad que el complejo máfico ocupe posiciones hipsométricas inferiores a las del complejo cumulativo ultramáfico.
- El desarrollo de una potente corteza de intemperismo producto de la conjugación simultánea de factores geológicos hipergénicos sobre las rocas máficas y ultramáficas de la asociación ofiolítica, han devenido en ricos yacimientos de hierro, níquel y cobalto, pero ha impedido y limitado la **aflorabilidad de las litologías**, por ende, ha dificultado el mapeo y la documentación geológica, así como la diferenciación petrológica de los complejos.
- Incide de forma negativa en la prospección de la mineralización cromífera el amplio desarrollo de la vegetación exuberante que cubre en gran parte todas las litologías de la asociación ofiolítica, así como las características del relieve abrupto que predomina en la región de Moa - Baracoa.
- La zona de mayor concentración de la mineralización cromífera está dada en las partes de desarrollo de corteza de intemperismo residual de potencias menores y variables, de altitud que varía de 100 m a 300 m, constituyendo la

corteza de meteorización laterítica una de las limitantes para el establecimiento de áreas pronósticos.

Teniendo presente los factores geológicos y la existencia de determinadas regularidades geólogo-estructurales, petrológicas, geoquímicas y mineralógicas, se recomienda una metodología de prospección que aporta y recoge la sucesión de trabajos y tareas a desarrollar para investigar e identificar **los restos de la antiguas zona de transición** entre las litologías máficas y ultramáficas de la asociación ofiolítica como premisa esencial e indispensable para realizar trabajos de prospección, considerándose como el **principal criterio científico del control de la mineralización cromífera** en la región de Moa – Baracoa.

### **3.3. Presentación de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera**

El propósito crucial para establecer las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera es esclarecer el grado de perspectiva para este tipo de mineralización, como base para trabajos futuros de prospección en estudio.

#### **3.4.1. Distribución espacial y genética**

La distribución espacial y genética de la mineralización cromífera está evidenciada en los mapas confeccionados, corrobora los resultados positivos de los estudios anteriores acerca de la presencia de manifestaciones y depósitos de la mineralización cromífera en el área de estudio. El control de la mineralización cromífera, asociada espacial y genéticamente a las dunitas y dunitas serpentizadas fue el criterio fundamental que se siguió en las búsquedas de los cuerpos cromíticos. Ese principio, en forma general, sigue vigente, en base a la génesis y concepciones actuales de los depósitos cromíticos del tipo podiformes, relacionados con la asociación ofiolítica, en cuanto a su origen, composición y lugar en el perfil.

En la región de Moa, las manifestaciones y yacimientos más importantes, han sido descubiertos porque el corte erosivo ha permitido dejar al descubierto estos tipos de depósitos minerales.

En la figura 32 se muestra el esquema de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera de la región de estudio, pudiéndose observar que los depósitos cromíferos de importancia económica aparecen concentrados preferentemente en el complejo cumulativo transicional y de manera subordinada, algunas manifestaciones y puntos de mineralización se encuentran en el complejo cumulativo inferior.

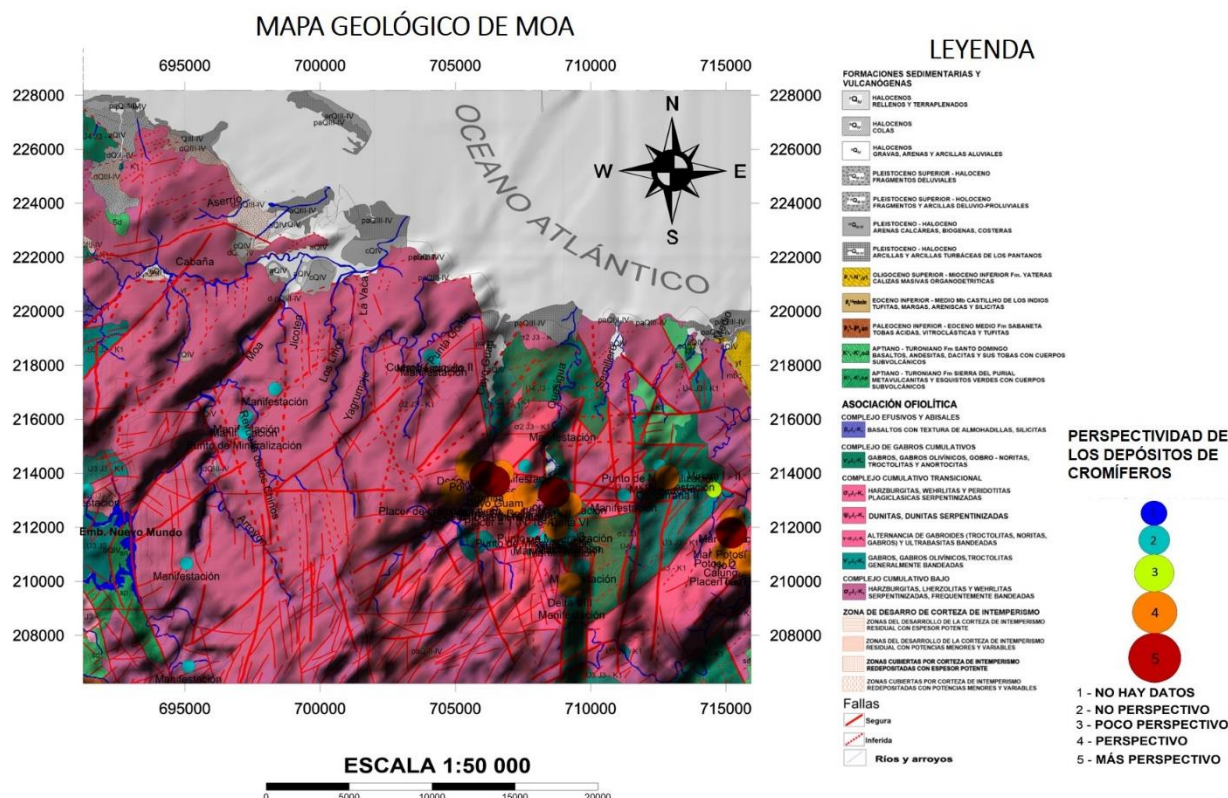


Figura 31. Esquema de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera de la región de estudio.

### 3.4.2. Complejo cumulativo transicional

Entre las rocas cumulativas ultramáficas y los gabros cumulativos se distingue un nivel caracterizado por la variabilidad de sus distintos perfiles, así como de las rocas constituyentes, las que varían desde las dunitas, peridotitas, piroxenitas, anortositas, gabros, troctolitas, hasta plagiogranitos, dentro de los cuales aparecen frecuentemente los cuerpos de cromita. La delimitación del MTZ en esta zona, es bastante clara, aunque en su parte inferior aparecen peridotitas muy parecidas a las del complejo cumulativo bajo, así como en su parte superior gabros, parecidos a los gabros cumulativos. En este complejo están mezcladas a las rocas máficas y ultramáficas y en algunos perfiles se alternan las ultramáficas (generalmente

plagioclásicas) y los gabros, en forma de fajas de diferenciación de 5 - 50 m de espesor. (Gyarmati y O'conor 1990).

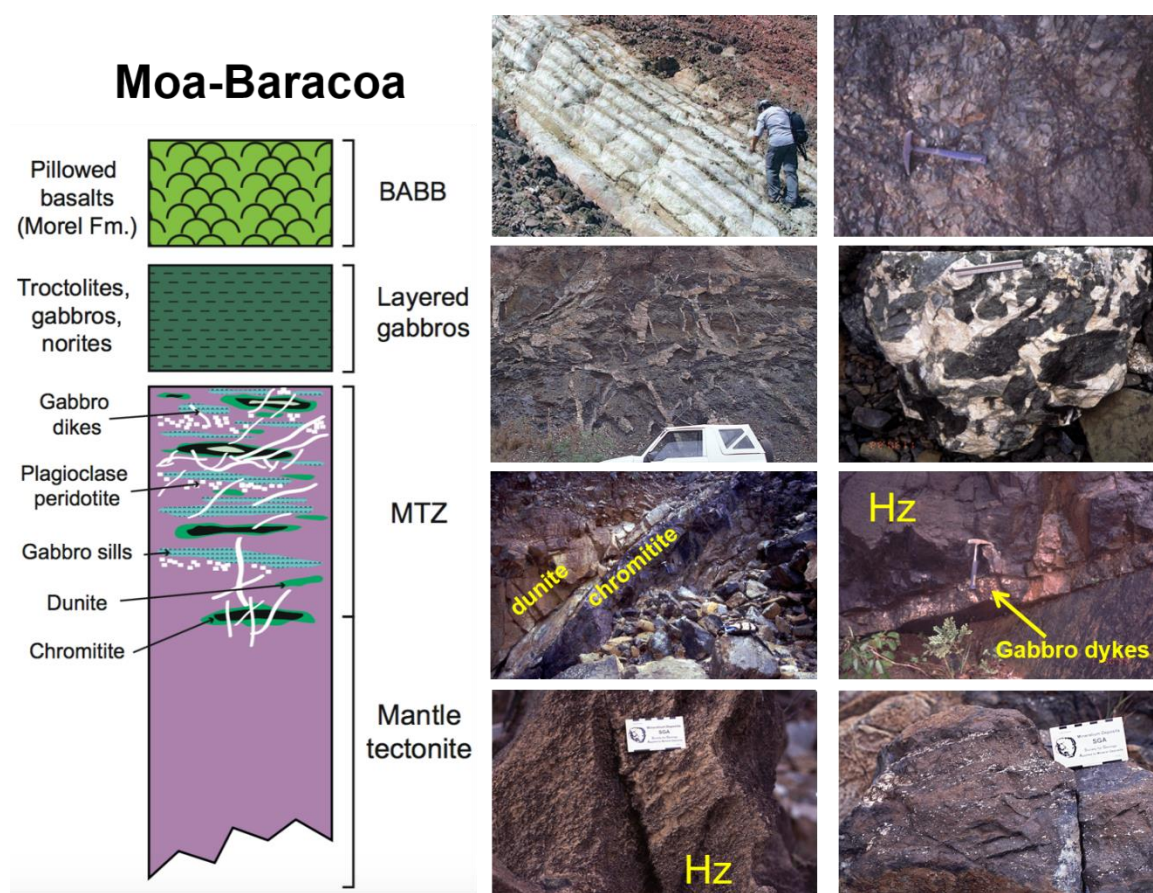
El origen de esta zona está relacionada con los procesos de diferenciación magmática líquida y la cristalización fraccionada. El desarrollo de los gabros es resultado de la pérdida de los componentes básicos del magma, que se acumulan en esta misma zona, encima de las rocas cumulativas bajas, aunque algunas veces pueden hundirse en la parte superior del complejo subyacente.

La distribución regional de esta zona tiene una importancia económica significativa, pues, en el área de estudio permite delimitar las áreas perspectivas para la localización de depósitos de cromita, donde esta mineralización aparece relacionada con lentes o capas de dunitas o dentro de la zona de transición desde dunitas - dunita plagioclásica, hasta troctolitas.

En la región de Moa, dentro del complejo cumulativo transicional se asocia una serie de yacimientos de cromitas en la zona norte de la Sierra de Maquey, en la parte meridional y oriental de la loma Miraflores, en una zona que casi circunda las Cuchillas de Moa (Merceditas, Franklin, Cayo Guan, La Delta). Esta regularidad también se cumple en las Cuchillas de Baracoa, como en las minas Potosí, en una franja de 17 km de largo al norte del río Jiguaní y en la zona de los cuerpos de cromita de Amores, La Constancia y Eureka. (Gyarmati y O'conor 1990).

En este complejo las rocas más frecuentes son las dunitas, wehrlitas, harzburgitas, gabros olivínicos, troctolitas, piroxenitas con pequeños cuerpos de plagiogranitos, diabasa, anortositas y cromita, con las partes extremas de la diferenciación local.

La mineralización de cromita dentro de la dunita, aparece en formas diversas como: disseminación heterogénea orientada, disseminación densa, láminas y lentes, con dimensiones desde algunos centímetros a unos metros de espesor y decenas de longitud, no obstante, algunos cuerpos con carácter industrial, también aparecen dentro las peridotitas de este complejo.



**Figura 32. Perfil teórico idealizado de las ofiolitas de la región de Moa – Baracoa, donde se detalla la composición aproximada de la Zona de Transición (MTZ, por sus siglas en inglés). Fuente: Proenza, J.A., (2019).**

Las rocas del complejo cumulativo transicional forman parte de los napes alóctonos de la asociación ofiolítica y su presencia o ausencia es determinada por los desplazamientos de los mantos. El espesor del complejo transicional, así como su composición y forma de desarrollo es también bastante variable, se puede evaluar con alguna incertidumbre desde 100 hasta 500 m. Su estructura original se manifiesta en el bandeamiento.

Se observan variaciones complejas en la continuidad de las rocas del complejo cumulativo transicional, provocado por el proceso de cabalgamiento de la secuencia ofiolítica, induciendo a la hipótesis que se encuentran como bloques independientes, por consiguiente, la mineralización se presenta distribuida en los bloques tectónicos, con rasgos diferenciados.

En la generalidad de los casos las cromititas son del tipo alto-alúmina, sin embargo en un mismo campo mineral se observan ocurrencias con diferentes rasgos evolutivos y características texturo-estructurales.

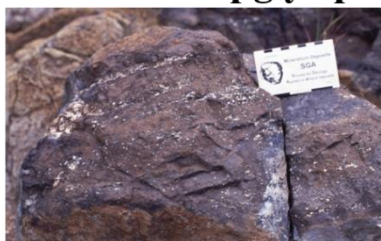
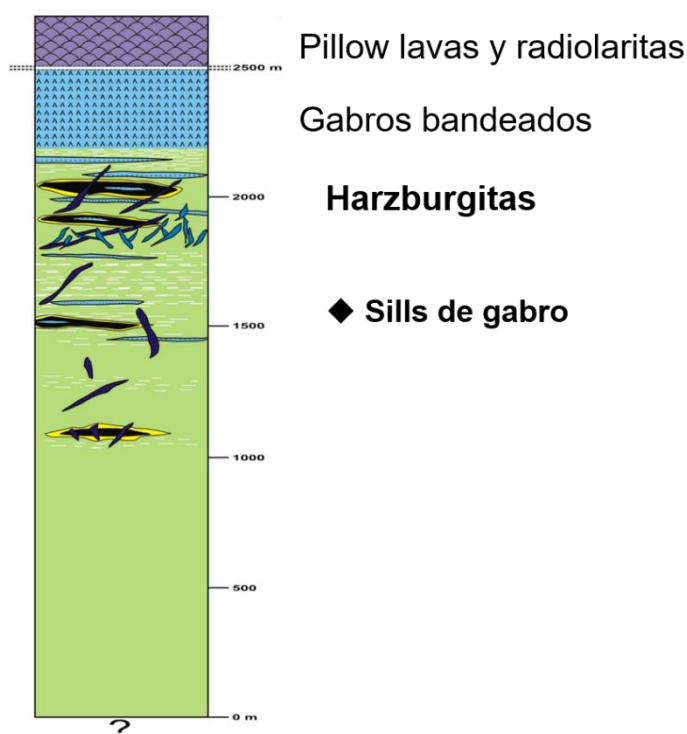
En el Mercedita (yacimiento cromífera que se encuentra cerca de la región de estudio), donde existieron operaciones mineras, los cuerpos minerales son del tipo concordantes, rodeados de un halo de dunita y en harzburgitas como roca circundante. La mena predominante es masiva con bien desarrolladas texturas pull-apart. Aparecen en el entorno de los cuerpos diques básicos, destacándose los tipos de gabro-pegmatitas post-mineralización que representan un estadio de reactivación magmática alejado del eje de expansión oceánica (Rodríguez et al. 1992).

En las harzburgitas no se observan claramente las estructuras penetrativas pero se evidencia la fábrica tectónica en el maclado mecánico de olivinos, pull-apart en espinelas cromíferas, agregados vermiculares de cromo espinelas rodeando ortopiroxenos y texturas equigranulares. Se observan además dunitas enstatíticas que transicionan a troctolitas de impregnación residual.

Es notable la existencia de olivinos cumulativos, con plagioclasa post cumulativa. Sin embargo los olivinos poseen kink band boundary como rasgo de su origen residual mantélico, que posteriormente fue involucrado con limitados procesos de cristalización fraccionada, donde estas troctolitas transicionan a dunitas acumulativas y a lherzolitas cumulativas con clinopiroxenos en la fase intersticial. Esto señala una fábrica de impregnación por lo cual argumentamos un nivel genético enmarcado en la zona de transición.

Es notable la no existencia de cromitas cumulativas en la matriz, lo cual asegura un régimen de cavidad y no de cámara magmática, dada la evidencia de temperaturas no tan altas. (Gyarmati y O'conor 1990). Todas estas características son propias de cuerpos discordantes. No existe orientación en las menas involucradas en un medio evidentemente harzburgítico de texturas orientadas.

En Cayo Guam contactan cromitas masivas de cuerpos concordantes con diques de gabro pegmatitas que las cortan. Todo esto nos sugiere pensar que los cuerpos aflorados de mayores dimensiones en el macizo Moa-Baracoa, dado su relación a diques, pertenecen a la zona de transición, en tanto la existencia de gabro pegmatitas sugiere reactivación magmática tardía y cambio en el régimen general, lo cual justifica el estado transicional del patrón de orientación preferencial mencionado en la geología de la Z.T. en la región.

**Dunitas con pg y cpx****Diques de gabros**

**Figura 33. Cromitas de Moa-Baracoa localizados en la MTZ (Proenza 2019b)**

En resumen podemos decir que en Moa-Baracoa se observan cromititas masivas y densamente diseminadas en cuerpos concordantes que se sitúan en varios niveles de la zona de transición. No se descartan cuerpos del tope de las tectonitas pero se observa que los campos minerales más importantes están vinculados a la zona de transición. (Albear 1992).

### **3.4.3. Áreas perspectivas para la mineralización cromífera en el área de estudio.**

En los dos mayores bloques del complejo cumulativo transicional reflejado en el mapa de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera, es donde se encuentran en el territorio de los trabajos todos los **cuerpos de importancia económica**.

Los mapas de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera, confirman la posición geológica de la mineralización descritas en los trabajos referentes a la región de estudio.

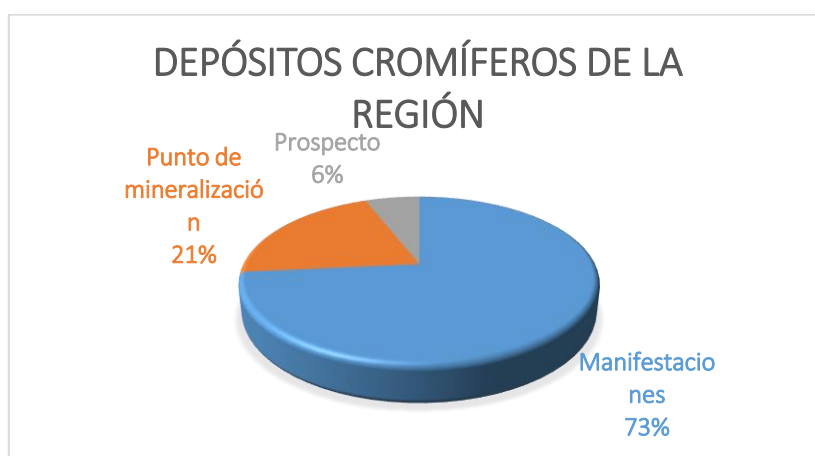
Se han reportado en la región de estudio alrededor de 100 ocurrencias de cromititas, muchas de ellas vinculadas a la zona de transición.

De acuerdo a los estudios ya desarrollados de 69 depósitos, lo que están ubicados en el mapa de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera en la región de estudio, los depósitos fueron clasificados en: manifestaciones, punto de mineralización y prospecto.

**Tabla 5. Clasificación de los depósitos cromíferos representados en el mapa de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización.**

| Clasificación de los depósitos | Cantidad | %    |
|--------------------------------|----------|------|
| Manifestaciones                | 49       | 73.5 |
| Punto de mineralización        | 15       | 20.6 |
| Prospecto                      | 4        | 5.9  |

De los 69 depósitos de la región de estudio 49 están clasificados como manifestaciones, haciendo el 73.5 % de los depósitos, los puntos de mineralización 20.6 % con una cantidad de 15 depósitos y solo 4 depósitos están clasificados como prospecto el 5.9 % de los depósitos de cromitas, que son los que mayor importancia económica tienen en toda la región estudio.



**Figura 34. La clasificación de los depósitos en porcentaje.**

A través del análisis e interpretación de las regularidades de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera y las informaciones que brindan las base de datos de los depósitos de mineralización cromífera de la región de estudio concedida por IGP, se determinó áreas perspectivas para la mineralización, con

una clasificación de perspectivo, poco perspectivo, no perspectivo y sin datos de perspectividad.

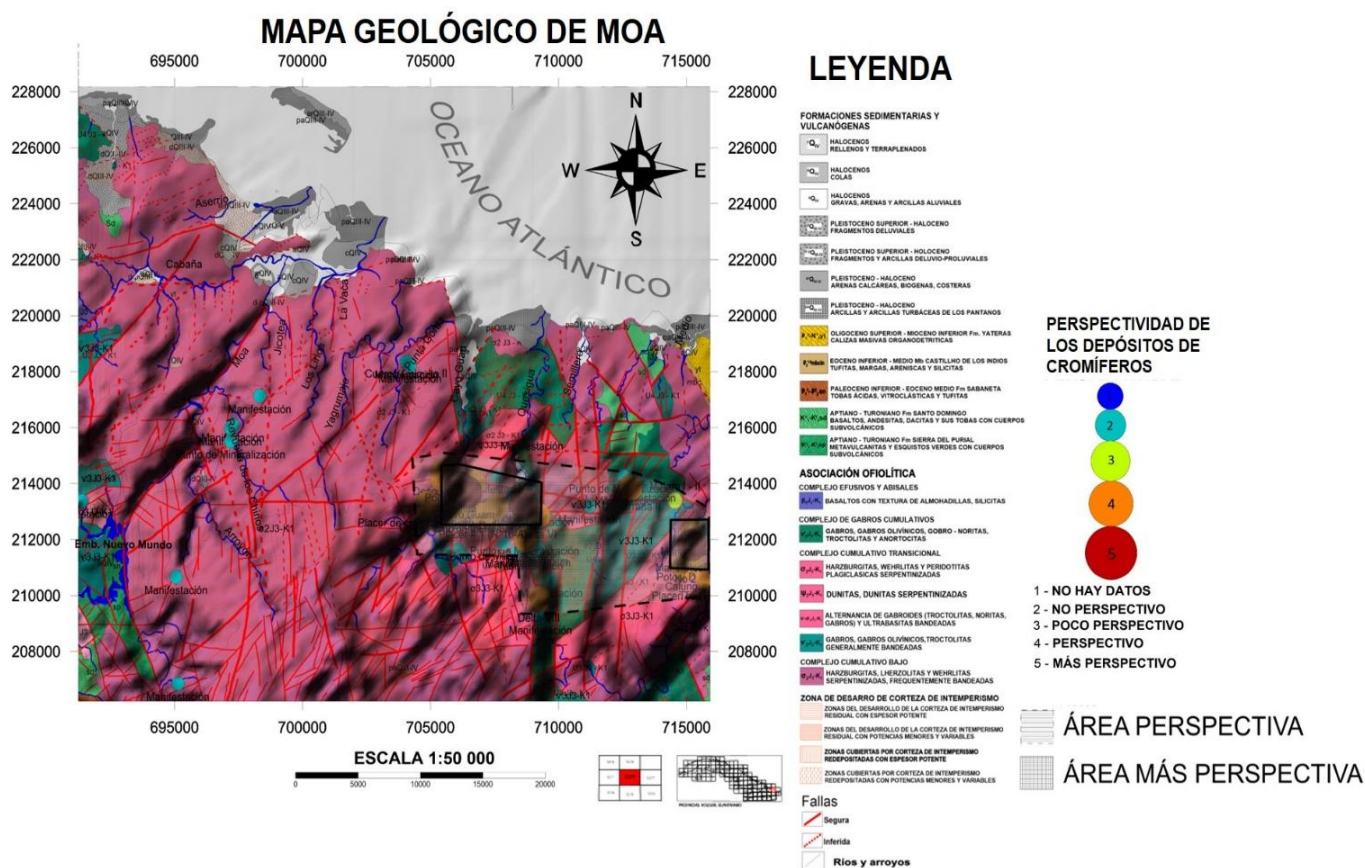
**Tabla 6. Perspectividad de los depósitos cromíferos en la región de Moa.**

| Perspectividad   | Cantidad | %    |
|------------------|----------|------|
| Perspectivo      | 25       | 36.8 |
| Poco perspectivo | 1        | 1.5  |
| No perspectivo   | 35       | 51.5 |
| No hay datos     | 7        | 10.3 |

En la región de estudio de los 69 depósitos cromíferas 25, que hace el 36.8 %, con un depósito clasificado en poco perspectivo, ocupando el 1.5%, mientras los no perspectivos, que tienen la mayor cantidad de depósitos ocupan el 51,5% con 35 depósitos, y por ultimo 7 depósitos cromíferos del área de estudio, el 10.3%, se desconoce los datos de perspectividad.

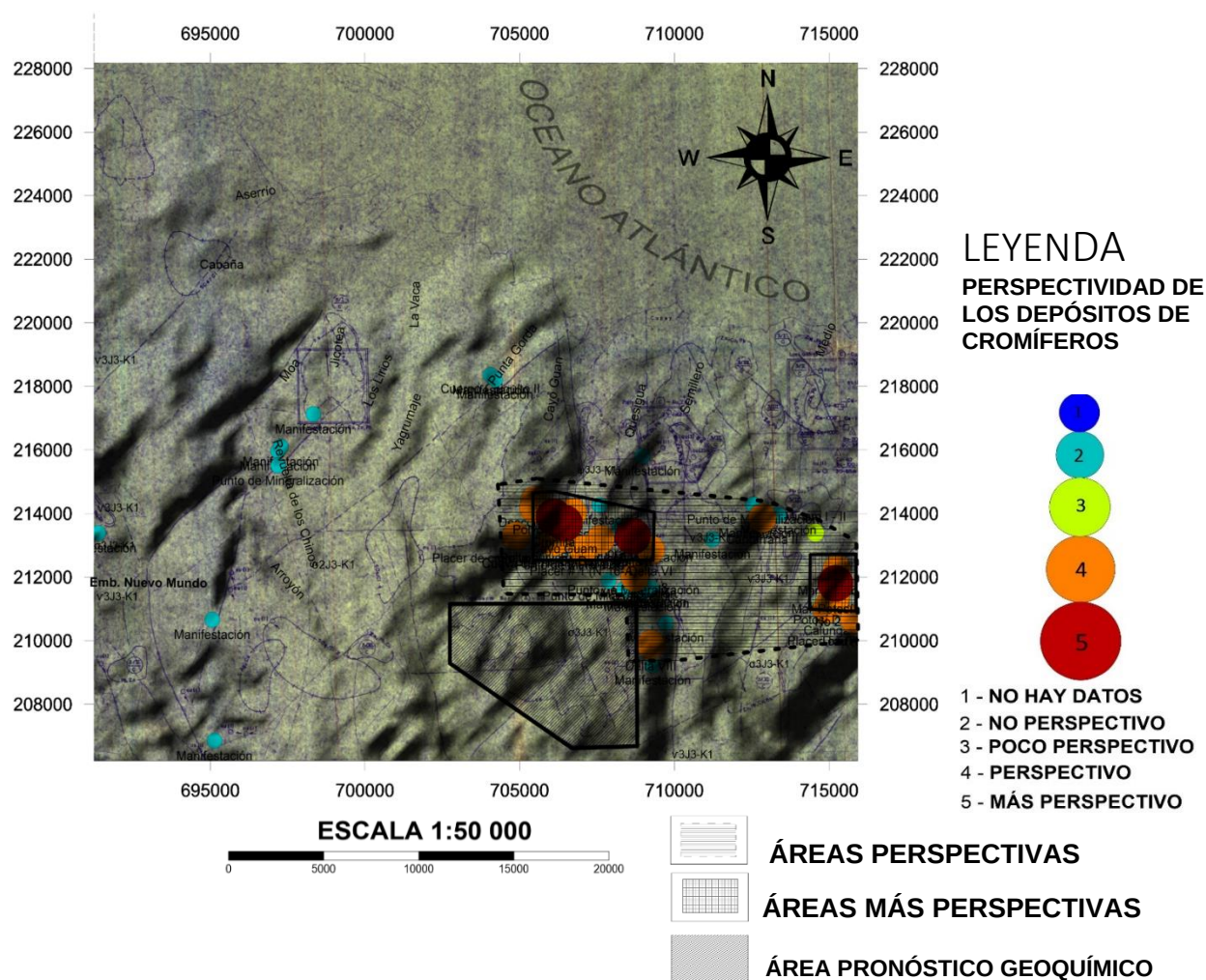


**Figura 35. Perspectividad de los depósitos dado en porcentaje.**



**Figura 36. Esquema de la perspectiva en la región de estudio.**

En la figura 37 se observan que las áreas perspectivas se encuentran en la parte sureste (SE) de la región de estudio, donde la delimitación de la zona de transición (MTZ) es bastante clara, los depósitos están repartidos en los dos grandes en los grandes bloques enmarcados.



**Figura 37. Comparación de las áreas perspectivas y áreas pronóstico geoquímico, establecida por Gyarmati et al., 1990.**

En la figura 38 se observa una comparación del mapa de las zonas más perspectivas y el mapa pronóstico geoquímico de Gyarmati 1990. Para la delimitación de las áreas pronósticos geoquímicos se tomaron muestras por el método de jagua.

### Sectores más perspectivas

Entre los depósitos delimitados como perspectivas, destacamos los más perspectivas, que a su vez son clasificados los 4 depósitos clasificados de prospecto, ellos son: depósitos cromíferos de Cayo Guam, Potosí, Cromitas, Delta II. Los yacimientos cromíferos de Cayo Guam y el de Potosí son los más investigados de la región de estudio.

## **Particularidades geológicas de la mineralización cromífera en los depósitos Cayo Guan y Potosí**

### **Cayo Guan**

Localizado en el angosto valle del río “Cayo Guan”, el campo menífero del mismo nombre, está integrado además por el yacimiento “Cromita” y pequeñas manifestaciones tales como “Narcizo”, “Las Deltas” y otras de menor importancia.

El yacimiento se localiza desde el punto de vista geológico en las litologías cumulativas ultramáficas muy próximas a los cúmulos máficos, petrológicamente las rocas ultramáficas están integradas por harzburgitas serpentinizadas, dunitas enstatíticas y dunitas serpentinizadas. (Luali 2005). El complejo cumulativo gabroide está representado por gabros normales, gabros olivínicos, troctolitas y noritas. Por (Muñoz 1997) de (Fonseca, E. et al., 1991), (Guerra, C.V., et al., 1995).

En sentido general, las litologías ultramáficas se presentan estratificadas y la mayoría de los cuerpos minerales, en forma de lentes, son concordantes con las litologías encajantes. No obstante, los diques de gabro-pegmatitas son cortantes a las litologías presentes así como a la mineralización cromífera, siendo los mismos más abundantes en los cuerpos minerales cromíferos (Guild, P., 1947), (Thayer, T.P., 1942) y (Muñoz Gómez 1995).

La mineralización cromífera está rodeada por dunitas y dunitas serpentinizadas las que localmente transicionan a dunitas enstatíticas y a harzburgitas serpentinizadas. (Thayer 1942) y Guild (1947) habían coincidido en la presencia de texturas planas, destacando que las mismas son paralelas a la foliación de las peridotitas.

La composición química de la mineralización cromífera es muy similar entre los cuerpos minerales, por lo que a consideración de Thayer (1942) y de Guild (1947) se trataba de un solo cuerpo lentiforme que fue cortado y desplazado por fallas, como sucede con el cuerpo mineral “Franklin”, - **cuerpo casi isométrico, podiforme** - que está completamente limitado por fallas (Guild, P.M., Flint, D. E., Albear 1947).

La mineralización cromífera masiva en los cuerpos minerales se acompaña de sulfuros tales como pirita, calcopirita y millerita (Fonseca, E. et al., 1991). Se han identificado fases de mineralización de los elementos del grupo del platino,

representado en la serie isomórfica laurita-erlichmanita. (Distler,V.V., Falcon, H.J., Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M.,1989) y (Muñoz Gómez, J.N. et al., 1991).

La similitud mineralógica entre los yacimientos "Cayo Guan" y "Potosí" y la existencia de paragénesis minerales - **platinífera y sulfurosa** - semejantes en ambos yacimientos es la causa fundamental para que en el cuerpo de la memoria no se incluya un capítulo de mineralogía de "Cayo Guan"; además de haberse tratados estos contenidos por otros investigadores cubanos y extranjeros (Thayer, T.P., 1942), (Guild, P.M., et al., 1947), (Fonseca, E., et al., 1991) y(Guerra, C.V. y Navarrete 1995).

### **Potosí**

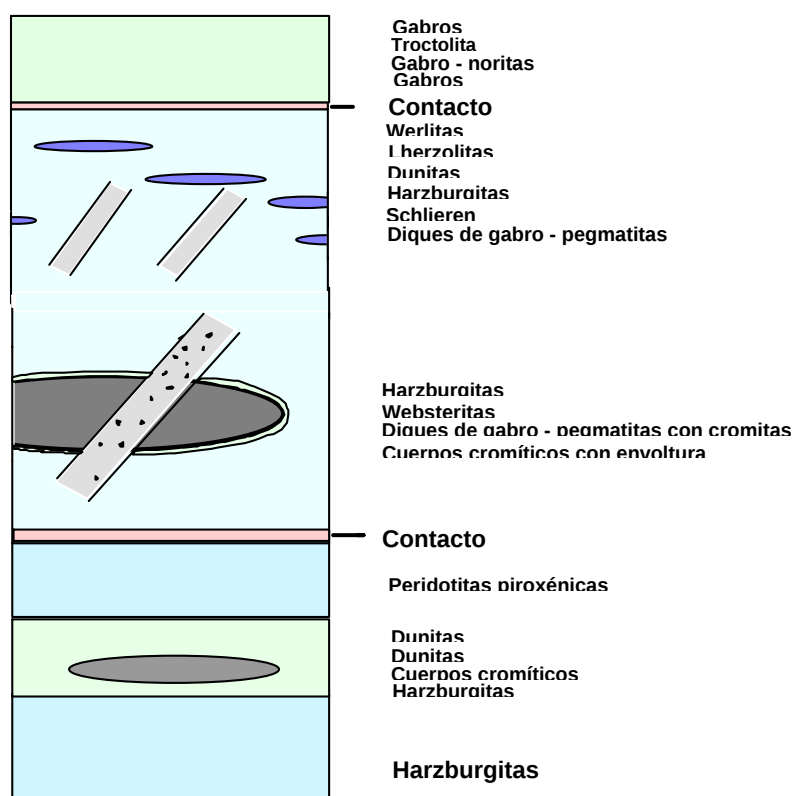
Se encuentra ubicado en el valle del río Yamanigüey y el campo menífero del yacimiento lo integran varias manifestaciones minerales, siendo la de mayor importancia "Tío Folio".

El yacimiento Potosí está representado por un cuerpo en forma de lente concordante a la estratificación de las dunitas, dunitas serpentinizadas y harzburgitas serpentinizadas, el cual fue dislocado en bloques por fallas de pos mineralización. (Muñoz, 1997).

En el área el complejo cumulativo gabroide se localiza por debajo de las litologías cumulativas ultramáficas. Se destacan en las harzburgitas serpentinizadas finas intercalaciones (desde 3 hasta 15 centímetros) de wehrlitas y lherzolitas plagioclásicas, lo que constituye una particularidad petrológica del área del yacimiento Potosí. (Lewis, J.F., Draper 1990).

Es un rasgo típico de la geología del yacimiento "Potosí" la existencia de diques de gabro-pegmatitas, los cuales como se ha señalado, son cortantes a la mineralización cromífera así como al resto de las litologías cumulativas ultramáficas. (Muñoz 1997).

La composición de las menas cromíferas masivas presentan características refractarias.



**Figura 38. Corte Teórico Idealizado de los Restos de la Zona de Transición entre los Complejos Máficos y Ultramáficos. Yacimientos "Cayo Guan" y "Potosí".**

### **Particularidades geológicas, petrológicas, geoquímicas y mineralógicas de los depósitos Cayo Guan y Potosí**

(Muñoz Gómez, J.N.,1997):

- Existencia de cuerpos en formas de lentes concordantes a las litologías ultramáficas y cuerpos podiformes en el yacimiento "Cayo Guan" .
- Presencia de dunitas serpentinizadas alrededor de los cuerpos minerales cromíferos y transiciones locales a dunitas enstatíticas y posteriormente a harzburgitas serpentinizadas.
- La existencia del complejo cumulativo gabroide en los campos meníferos de ambos yacimientos, acompañadas del predominio de las harzburgitas serpentinizadas como litología predominante del fundamento melanocrático.

- Existencia de dunitas y otras peridotitas plagioclásicas en forma de lentes estrechos en las harzburgitas serpentinizadas, siendo las menos abundantes las wehrlitas y lherzolitas plagioclásicas.
- El complejo cumulativo máfico está representado por gabros normales, gabros olivínicos, troctolitas, noritas y gabro-noritas.
- Los diques de gabro-pegmatitas son cortantes a las litologías cumulativas máficas y ultramáficas así como a la mineralización cromífera, siendo más abundantes en los cuerpos minerales cromíferos, lo que constituye una particularidad petrológica en ambos campos meníferos.
- Alta manifestación de los procesos de agrietamiento, esquistosidad y brechamiento de las litologías de la asociación ofiolítica y de las espinelas cromíferas, lo que ha complicado la yacencia primaria y ha desplazado los cuerpos minerales cromíferos.

#### **3.4.3.1. Ubicación geológica de la mineralización**

A partir de las características geoquímicas de las diferentes rocas que intervienen en la composición geólogo-estructural, en las distintas zonas se puede establecer la mineralización en dos niveles fundamentales, de acuerdo a los trabajos investigativos productivos ejecutados por Gyarmati y O'Connor, Leyét, Fonseca, E., S.Slandkevich et al. (Gyarmati y O'Connor 1990):

- Nivel de ultramafitas metamorfizadas:

Zona inferior asociada a serpentinitas, harzburgitas serpentinizadas, dunitas y rocas anfibolitizadas.

- Nivel cumulativo Ultramáfico y Máfico:

- a) Zona de gabroides con características pegmatoides, que aparecen en la parte media de los cúmulos.
- b) Zona de transición entre las dunitas y las dunitas plagioclásicas.
- c) Zonas de dunitas enstatíticas, como capas intercaladas entre dunitas y harzburgitas.

**Sectores más perspectivas:** Cayo Guam – Potosí – Cromitas - Delta II

La composición mineralógica de las cromitas está determinada por el contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  –  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , cromopicotita-alumino-cromita y cromomagnetita.

**Tipo genético de la mineralización cromífera de Moa:** Cromítico podiforme y Cromítico de placer

**Productos y sub \_ productos:** menas cromíticas ricas en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  y  $\text{MgO}$ .

**Tipo de mena según las exigencias industriales:** menas de tipo refractarias.

**Tipo de mena:** Espinela Cromífera  $(\text{Mg,Fe}) (\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4$

**Textura y estructura:** presentan gran variedad de texturas: masiva, diseminada, nodular y brechoide. Se observan cromititas masivas y densamente diseminadas en cuerpos concordantes que se sitúan en varios niveles de la zona de transición.

Los principales cuerpos de cromititas presentan forma lenticular (ellos son llamados lentes por los mineros cubanos y sería el equivalente a los p o d de la literatura inglesa) y se ubican en la Moho Transition Zone (M T Z), encajados en peridotitas residuales y en la cercanía de los niveles de gabros bandeados (Proenza, Gervilla y Melgarejo 1998).

## CONCLUSIONES

1. La representación espacial de la mineralización de cromífera en la región de Moa, permite verificar que se localiza en una MTZ, frecuentemente vinculada a las dunitas. Se reconocen en el área de estudio numerosos cuerpos de cromitas podiforme, las cromitas de la región contienen alto aluminio, según las exigencias industriales se consideran menas del tipo refractarias.
2. Se estableció un sistema metalotectos litológico - estructurales, petrológicos, geoquímicos y mineralógicos, que favorecen la mineralización cromífera, ya que se observan variaciones complejas en la continuidad de las rocas dentro del complejo cumulativo transicional, provocado por el proceso de cabalgamiento de la secuencia ofiolítica, induciéndose que la mineralización cromífera se encuentra bien distribuida dentro de cada bloque tectónico independiente, aunque con rasgos bien diferenciados.
3. La parte sureste (SE) de la región de estudio es la zona con mayor concentración de depósitos de mineralización cromíferos, donde la delimitación de la zona de transición (MTZ) es bastante clara, constituyendo el área con mayores perspectivas para la prospección y exploración. Se determinaron 25 depósitos prospectivos, dentro de los cuáles, los de mayor potencial son los depósitos Cayo Guam, Potosí, Cromitas, Delta II.

## **RECOMENDACIONES**

1. Desarrollar investigaciones regionales para cartografiar la zona de transición (MTZ) y dentro de ella, las rocas duníticas, por constituir el principal criterio científico del control de la mineralización cromífera en la región de Moa – Baracoa.
2. Elaborar un modelo de prospección y exploración de los depósitos cromíferos en la región de estudio, con el empleo de las regularidades geólogo - estructurales, petrológicas, geoquímicas y mineralógicas de la mineralización cromífera.

## BIBLIOGRAFÍA

ADAMOVICH CHEJOVICH, V., ET AL., A., 1962. Estructura geológica y minerales útiles de la zona de Moa a escala 1: 50 000. CNFG. ,

ALBEAR, R.Á.R.. S.C.P.M.. N.M.. F.E. y De, 1992. LAS CROMITITAS PODIFORMES EN LAS OFIOLITAS DE CUBA. *Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS.*,

CALA, I.M., 2016. Modelo geométrico del yacimiento de cromita podiforme «Victoria II». *Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo,*

GÓMEZ, J.N.M., 1997. *Geoquímica y Mineralogía de la Mineralización Cromífera Asociada al Complejo Ofiolítico en la Región de Moa - Baracoa, Cuba.* Moa: I N S T I T U T O S U P E R I O R MINERO METALÚRGICO DE MOA Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ.

GUERRA, C.V. Y NAVARRETE, M., 1995. Informe sobre los resultados de los trabajos de generalización de la información geológica sobre cromitas refractarias de la región Moa-Baracoa y delimitación de las áreas perspectivas en los flancos de yacimientos explotados. ( Inédito ). *Empresa Cromo-Moa, Moa, Cuba.*,

GUILD, P.M., FLINT, D. E., ALBEAR, J.F., 1947. Petrology and structure of the Moa chromite district Oriente province, Cuba. *U.S. Geological Survey.*, vol. vol.28. no.

GYARMATI, P. y O'CONOR, J.L., 1990. Informe final de los trabajos de levantamiento geológico 1:50 000 y búsquedas acompañantes en el polígono V Guantánamo. , pp. 1-484.

HAYES VAUGHAN, T.W. AND SPENCER, A.C., C.W., 1901. Report on a geology reconnaissance of Cuba. . *Civil report of Brig. Gen. Leonard Wood. Military Governor of Cuba,*

HENARES, S., GONZÁLEZ-JIMÉNEZ, J.M., GERVILLA, F., PROENZA, J.A., RODRÍGUEZ, A.C. y GONZÁLEZ-PONTÓN, R.B., 2010. *Las cromititas del complejo ofiolítico de camagüey, cuba: Un ejemplo de cromitas ricas en Al.* 2010. S.l.: s.n.

LEWIS, J.F., DRAPER, G., 1990. Geology and tectonic evolution of the northern caribbean margin: In Vol. H, The Caribbean region, Chapter 4. *The Geological*

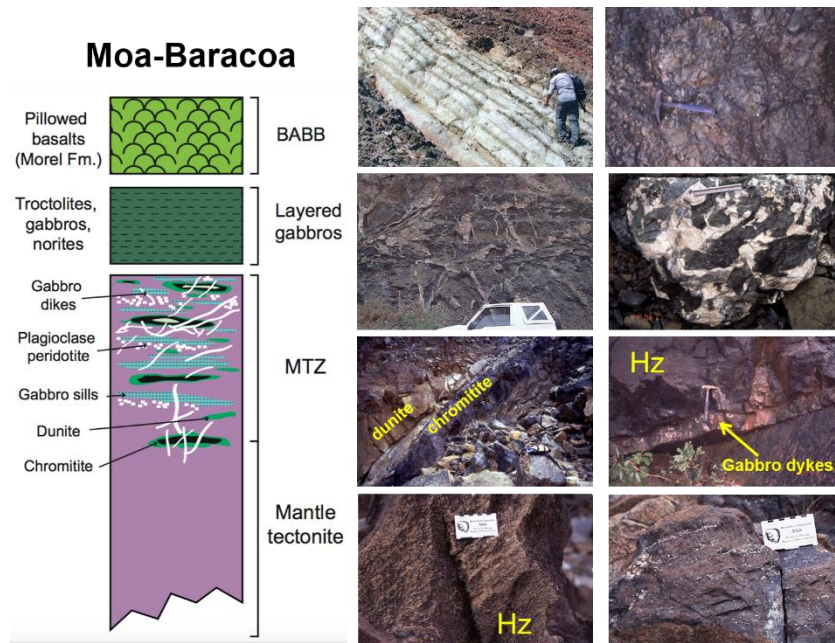
*Society of América,*

- LUALI, M.F., 2005. Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa. *TRABAJO DE DIPLOMA En opción al Título de Ingeniero Geólogo,*
- MUÑOZ GÓMEZ, J.N., 1995. Las paragénesis minerales del yacimiento «Potosí» y su sucesión genética, Moa,. *Revista Minería y Geología, vol. XII,*
- MUÑOZ GÓMEZ, J.N., 2003. MODELO GENÉTICO TEÓRICO DE LA MINERALIZACIÓN. , pp. 24-28.
- MUÑOZ GÓMEZ, J.N., 2015. GEOLOGIA Y MINERALOGIA DE YACIMIENTOS CROMITICOS. *Conferencia,* pp. 1-29.
- MUÑOZ, J.N., 1997. *Geoquímica y Mineralogía de la Mineralización Cromífera Asociada al Complejo Ofiolítico en la Región de Moa - Baracoa , Cuba. S.l.: s.n.*
- PROENZA, J.A., 2019a. Proenza\_Conferencia IGP 04-2019 Parte 1. *Petrología, Geoquímica y Metalogenia de las ofiolitas de Cuba,*
- PROENZA, J.A., 2019b. Proenza\_Conferencia IGP 04-2019 Parte 2. *Petrología, Geoquímica y Metalogenia de las ofiolitas de Cuba,*
- PROENZA, J.A., GERVILLA, F. y MELGAREJO, J.C., 1998. Las cromititas ofiolíticas del yacimiento Mercedita ( Cuba ). Un ejemplo de cromititas ricas en Al en la zona de transición manto-corteza. , vol. 33, pp. 179-212.
- PROENZA, J.A., MELGAREJO, J.C., GERVILLA, F. y LAVAUT, W., 1998. Cromititas podiformes en la Faja Ofiolítica Ma. *ACTA GEOLOGICA HISPANICA, v. 33 (1998), nº 1-4,p. 153-177 Cromititas, vol. 33, pp. 153-177.*
- RODRIGUEZ, A., 1998. ESTUDIO MORFOTECTONICO DE MOA Y AREAS ADYACENTES PARA LA EVALUACION DE RIESGOS DE GENESIS TECTONICA. *Tesis en opcion al grado cientifico de doctor en ciencias geologicas,*
- RODRIGUEZ, R., PACHECO, M.S.C., NAVARRETE, M., FONSECA, E. y ALBEAR, J.F., 1992. LAS CROMITITAS PODIFORMES. *Instituto de Geologia y Paleontologia Empresa Geominera Orienta,*

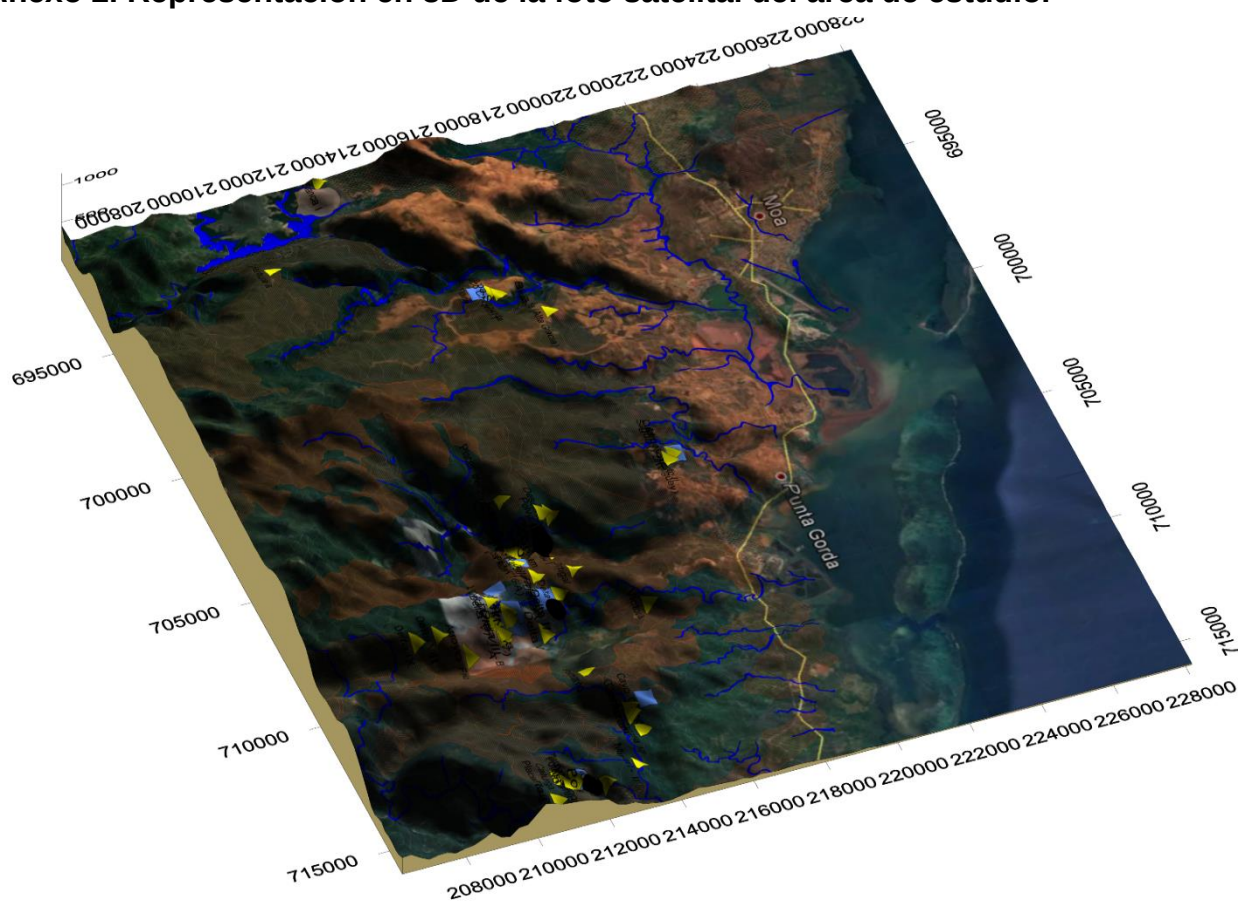
THAYER, P.T., 1942. Chrome resources of Cuba.pdf. *U. S. Geological Survey Bulletin.*,

## ANEXOS

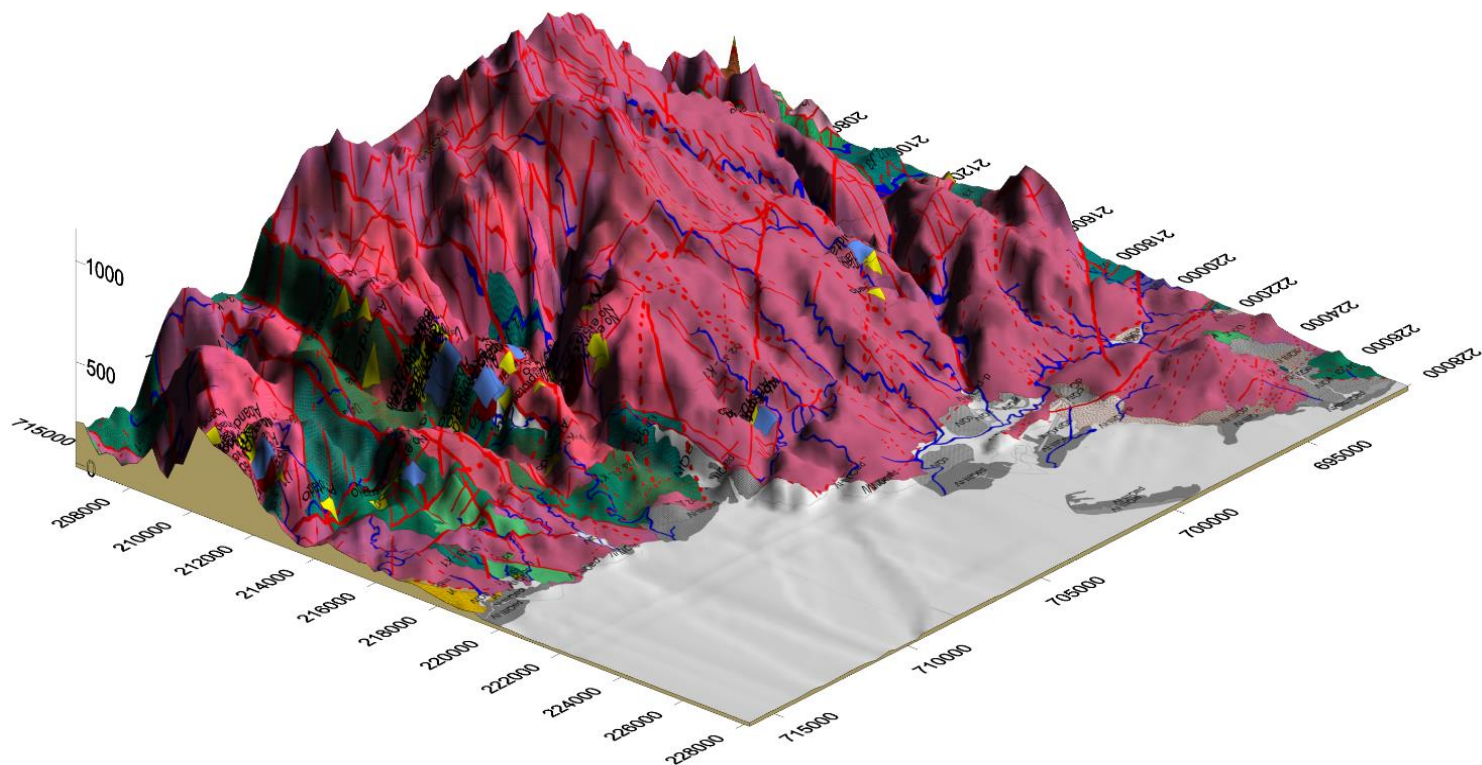
### Anexo 1. Cromitas de Moa - Baracoa localizados en la MTZ (Proenza 2019a)



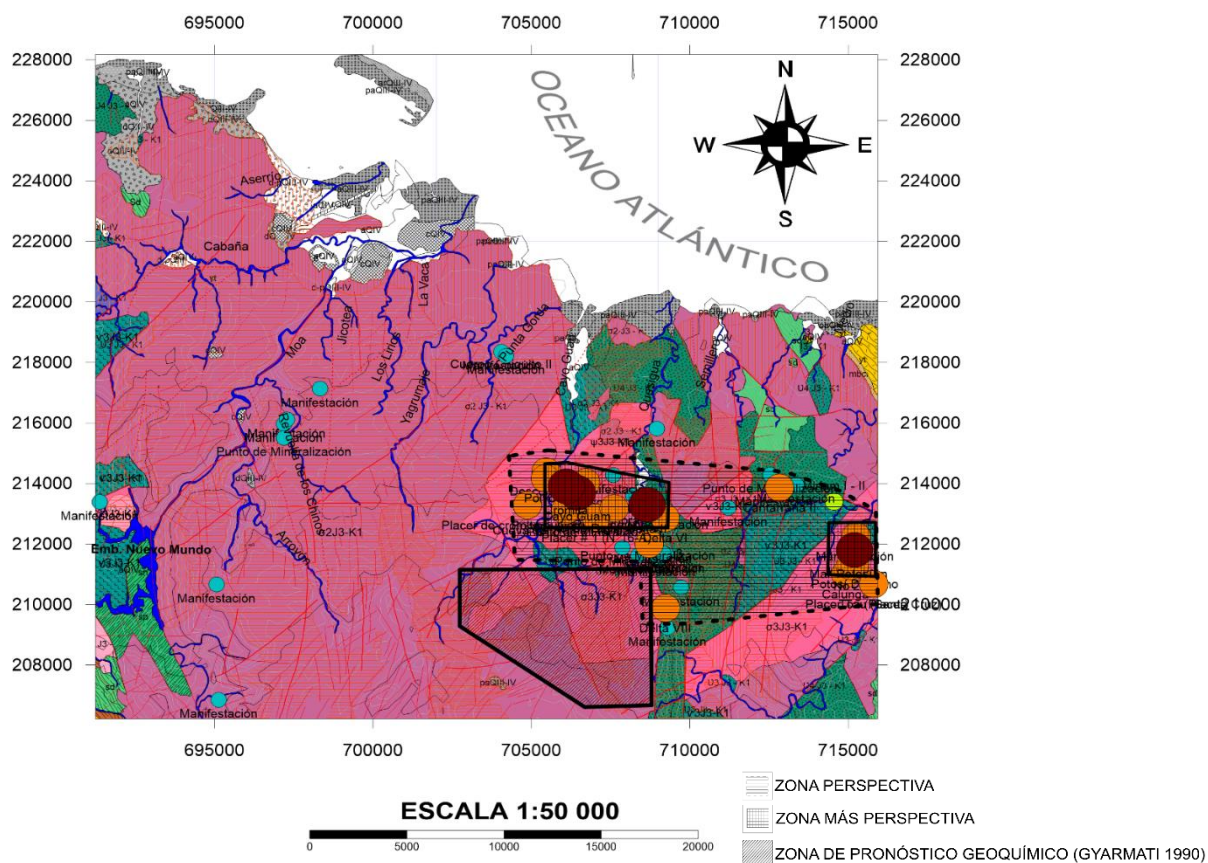
### Anexo 2. Representación en 3D de la foto satelital del área de estudio.



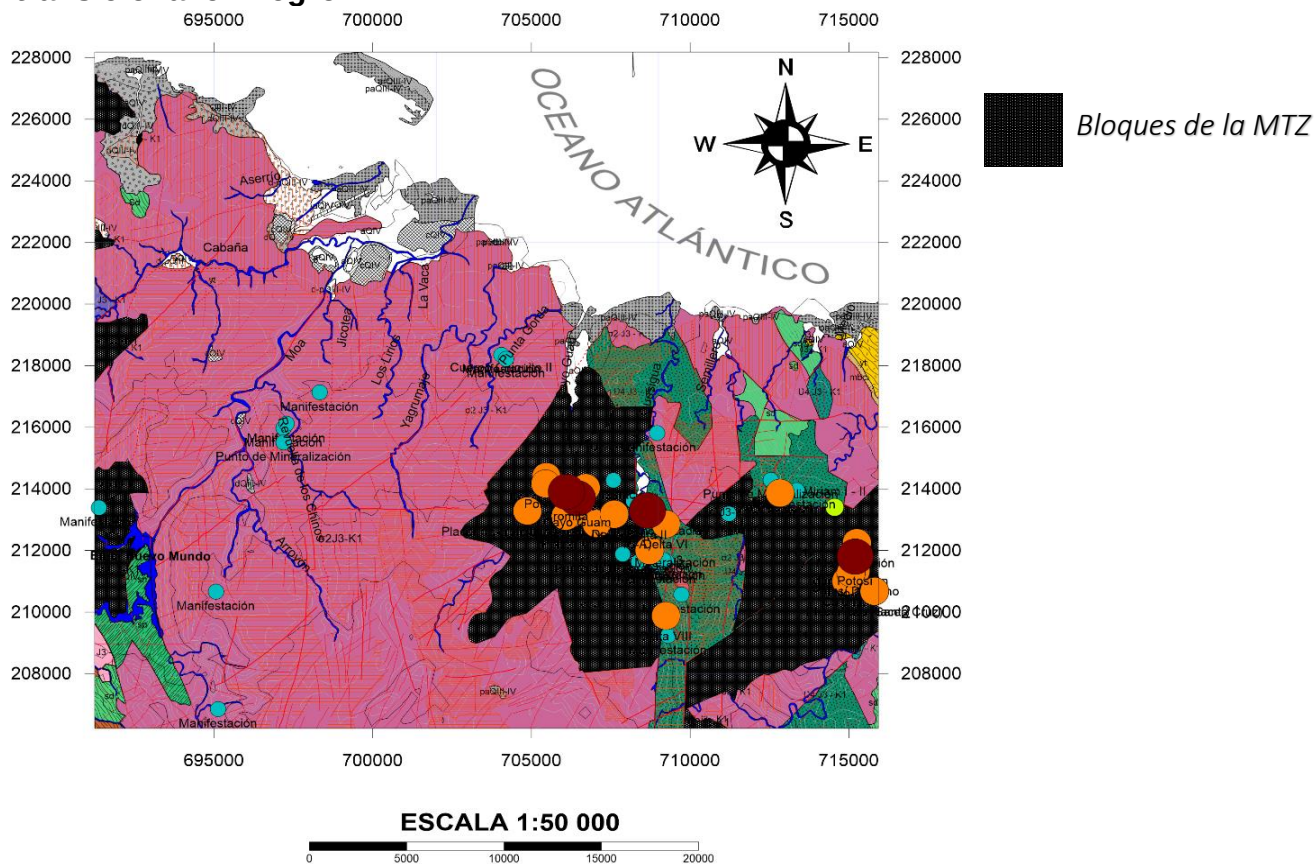
### Anexo 3. Mapa 3D de la distribución espacial y genética de la mineralización cromífera.



### Anexo 4. Comparación de las áreas perspectivas y áreas pronóstico geoquímico, establecida por Gyarmati et al., 1990.



# **Anexo 5. Representación de los bloques pertenecientes al complejo cumulativo transicional en negro.**



## Anexo 6. Leyenda de los mapas

### LEYENDA

#### FORMACIONES SEDIMENTARIAS Y VULCANÓGENAS

|  |                                                                                                             |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | HALOCENO<br>RELLENOS Y TERRAPLENADOS                                                                        |
|  | HALOCENO<br>COLAS                                                                                           |
|  | HALOCENO<br>GRAVAS, ARENAS Y ARCILLAS ALUVIALES                                                             |
|  | PLEISTOCENO SUPERIOR - HALOCENO<br>FRAGMENTOS DELUVIALES                                                    |
|  | PLEISTOCENO SUPERIOR - HOLOCENO<br>FRAGMENTOS Y ARCILLAS DELUVIO-PROLUVIALES                                |
|  | PLEISTOCENO - HALOCENO<br>ARENAS CALCÁREAS, BIOGÉNAS, COSTERAS                                              |
|  | PLEISTOCENO - HALOCENO<br>ARCILLAS Y ARCILLAS TURBACEAS DE LOS PANTANOS                                     |
|  | OLIGOCENO SUPERIOR - MIOCENO INFERIOR Fm. YATERA<br>CALIZAS MASIVAS ORGANODETRITICAS                        |
|  | EOCENO INFERIOR - MEDIO Mb. CASTILHO DE LOS INDIOS<br>TUFITAS, MARGAS, ARENISCAS Y SILICITAS                |
|  | PALEOCENO INFERIOR - EOCENO MEDIO Fm. SABANETA<br>TOBAS ÁCIDAS, VITROCLÁSTICAS Y TUFITAS                    |
|  | APTIANO - TURONIANO Fm. SANTO DOMINGO<br>BASALTOS, ANDESITAS, DACITAS Y SUS TOBAS CON CUERPOS SUBVOLCÁNICOS |
|  | APTIANO - TURONIANO Fm. SIERRA DEL PURIAL<br>METAVULCANITAS Y ESQUISTOS VERDES CON CUERPOS SUBVOLCÁNICOS    |

#### ASOCIACIÓN OFIOLÍTICA

|  |                                                                                                             |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | COMPLEJO EFUSIVOS Y ABISALES<br>BASALTOS CON TEXTURA DE ALMOHADILLAS, SILICITAS                             |
|  | COMPLEJO DE GABROS CUMULATIVOS<br>GABROS, GABROS OLIVÍNICOS, GABRO - NORITAS, TROCTOLITAS Y ANORTOCITAS     |
|  | COMPLEJO CUMULATIVO TRANSICIONAL<br>HARZBURGITAS, WEHRLITAS Y PERIDOTITAS PLAGICLÁSICAS SERPENTINIZADAS     |
|  | DUNITAS, DUNITAS SERPENTINIZADAS                                                                            |
|  | ALTERNANCIA DE GABROIDES (TROCTOLITAS, NORITAS, GABROS) Y ULTRABÁSITAS BANDEADAS                            |
|  | GABROS, GABROS OLIVÍNICOS, TROCTOLITAS GENERALMENTE BANDEADAS                                               |
|  | COMPLEJO CUMULATIVO BAJO<br>HARZBURGITAS, LHERZOLITAS Y WEHRLITAS SERPENTINIZADAS, FRECUENTEMENTE BANDEADAS |

#### ZONA DE DESARROLLO DE CORTEZA DE INTEMPERISMO

|  |                                                                                               |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ZONAS DEL DESARROLLO DE LA CORTEZA DE INTEMPERISMO RESIDUAL CON ESPESOR POTENTE               |
|  | ZONAS DEL DESARROLLO DE LA CORTEZA DE INTEMPERISMO RESIDUAL CON POTENCIAS MENORES Y VARIABLES |
|  | ZONAS CUBIERTAS POR CORTEZA DE INTEMPERISMO REDEPOSITADAS CON ESPESOR POTENTE                 |
|  | ZONAS CUBIERTAS POR CORTEZA DE INTEMPERISMO REDEPOSITADAS CON POTENCIAS MENORES Y VARIABLES   |

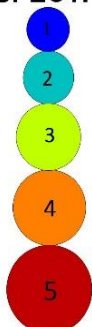
#### Fallas

|  |                |
|--|----------------|
|  | Segura         |
|  | Inferida       |
|  | Ríos y arroyos |

#### DEPOSITOS CROMIFEROS DE LA REGION

|  |                         |
|--|-------------------------|
|  | PROSPECTO               |
|  | PUNTO DE MINERALIZACIÓN |
|  | MANIFESTACIÓN           |

#### PERSPECTIVIDAD



- 1 - NO HAY DATOS
- 2 - NO PERSPECTIVO
- 3 - POCO PERSPECTIVO
- 4 - PERSPECTIVO
- 5 - MÁS PERSPECTIVO

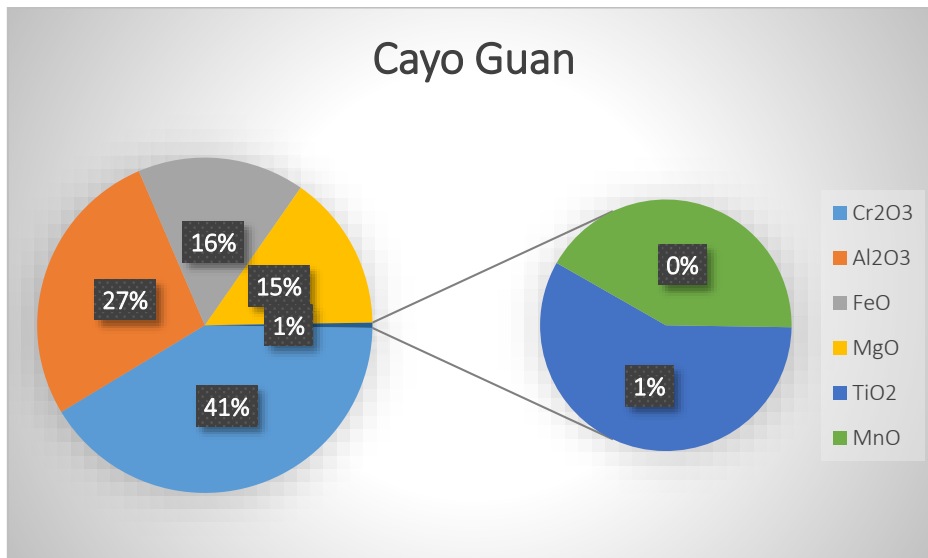


ÁREAS PERSPECTIVAS

ÁREAS MÁS PERSPECTIVAS

ÁREA PRONÓSTICO GEOQUÍMICO

### Anexo 7. Composición química de las cromitas de los depósitos de Cayo Guan, Moa.



### Anexo 8. Composición química de las cromitas de los depósitos de Potosí.

