

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**

TRABAJO DE DIPLOMA

**Título: Caracterización morfológica y mineralógica del placer
Mejías**

Autor: Juan Ndong Esono

Tutor: Roberto Díaz Martínez

Moa, 2005

INTRODUCCIÓN

El placer Mejías, único de su tipo en Cuba Oriental, ha sido sistemáticamente estudiado desde la década del 90 del pasado siglo. Las investigaciones mineralógicas realizadas por varios investigadores (Kuliaskov, L. y Díaz Martínez-R., 1991; Díaz-Martínez, R. et al, 1998; Vila-Sánchez, A. y Díaz-Martínez, R. 2004) han permitido reconocer una amplia gama de minerales, dentro de los cuales la magnetita, cromita, ilmenita, circón, rutilo y el oro son los de mayor interés económico. La distribución y concentración en profundidad de cada una de estas fases minerales en los diferentes lentes que conforman el placer se desconoce y por tanto no podría contornearse el placer en profundidad.

Por otro lado se señala el hecho de que nunca se han perforado pozos profundos que atraviesen todos los cuerpos de arenas enriquecidos en minerales valiosos por lo que se desconoce la profundidad máxima que alcanza el placer y las potencias de sus diferentes cuerpos minerales. Estos aspectos son de gran importancia pues permiten delimitar la frontera entre la parte útil del placer y aquella no industrial, garantizando así el cálculo de los recursos y reservas en un futuro. Por lo antes expuesto surge la idea de la presente investigación formulando el siguiente problema:

Problema de la investigación

La necesidad de caracterizar la morfología de los cuerpos minerales del placer Mejías y la composición mineralógica en un perfil longitudinal en la zona de la berma de la playa. Partiendo del problema antes planteado surge la siguiente hipótesis de trabajo:

Hipótesis

Si se conoce la forma, dimensiones, yacencia y profundidad de los diferentes cuerpos minerales que conforman el placer Mejías, así como la distribución y abundancia de sus principales fases minerales de interés económico en un perfil longitudinal ubicado en la berma de la playa, entonces es posible realizar una correcta delimitación espacial del placer que permita una adecuada estimación de los recursos y reservas de minerales útiles y por tanto se garantizaría un estudio de factibilidad económica con vista a la puesta en marcha de una futura instalación minera.

Objeto de investigación

Los cuerpos minerales de arenas negras del placer Mejías.

Objetivo

La presente tesis de grado tiene como objetivo caracterizar la morfología de los cuerpos minerales que conforman el placer Mejías y determinar la composición mineralógica de los mismos en la zona de la berma de la playa.

Justificación de la investigación

La presente tesis de grado se justifica ya que la misma contribuye a esclarecer la estructura del placer Mejías mediante el estudio de la forma de los cuerpos minerales, su yacencia, profundidad, cantidad de cuerpos minerales, relación de los cuerpos con las encajantes, así como la distribución espacial y concentración de las principales fases minerales de interés económico. De ahí la conveniencia de que la misma se realice.

Esta tesis posee implicaciones prácticas trascendentales ya que al conocerse la cantidad de cuerpos minerales, su potencia, profundidad, acuñamiento, elementos de yacencia y concentración de los componentes valiosos se podrá proyectar todos los trabajos de exploración que conlleven a estimar los recursos y reservas de minerales útiles con que cuenta el placer y por tanto un mejor estudio de factibilidad económica.

Resultados previstos

1. Determinar la cantidad y morfología de los cuerpos minerales que conforman el placer Mejías.
2. Determinar los elementos de yacencia de los diferentes cuerpos minerales del placer.
3. Esclarecer la abundancia y distribución de las principales fases minerales de interés económico en un perfil longitudinal ubicado espacialmente en la berma de la playa.

CAPÍTULO I. RASGOS FÍSICO-GEOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN Y DEL SECTOR DE ESTUDIO.

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se recogen en apretada síntesis los datos generales de la geografía del noreste de Cuba y los principales renglones económicos de una región eminentemente industrial, en la cual la minería del níquel desempeña un papel destacado en la economía cubana. Se hace un pormenorizado análisis del marco geológico regional y local. A continuación se exponen los rasgos geográficos y económicos de la región en donde se ubica el placer Mejías.

1.2. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DE LA REGIÓN.

1.2.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio está situada en el NE de Cuba Oriental (Fig. 1), se ubica en la costa atlántica en lado este de la desembocadura del río Sagua de Tánamo, en el municipio de Frank País, a unos 16 km. del Municipio Sagua de Tánamo y está comprendida entre los 30°39' y 31°20' de latitud norte y entre los 116° 06' y 116° 40' de longitud oeste. Los límites geográficos están bien definidos:

Por el Norte: Con el océano Atlántico.

Por el sur: Con el macizo montañoso Mayarí-Baracoa.

Por el Este: Con el poblado de Moa

Por el Oeste: Con el Municipio de Frank País.

Los trabajos se desarrollaron principalmente en la zona de la berma de la playa Majías, al noreste de la desembocadura del río Sagua de Tánamo, aunque también se trabajó en el extremo occidental del placer en el sector de la playa El Canal.

Coordenadas Lambert:

X = 664,930 – 666,800

Y = 229,000 – 230,300

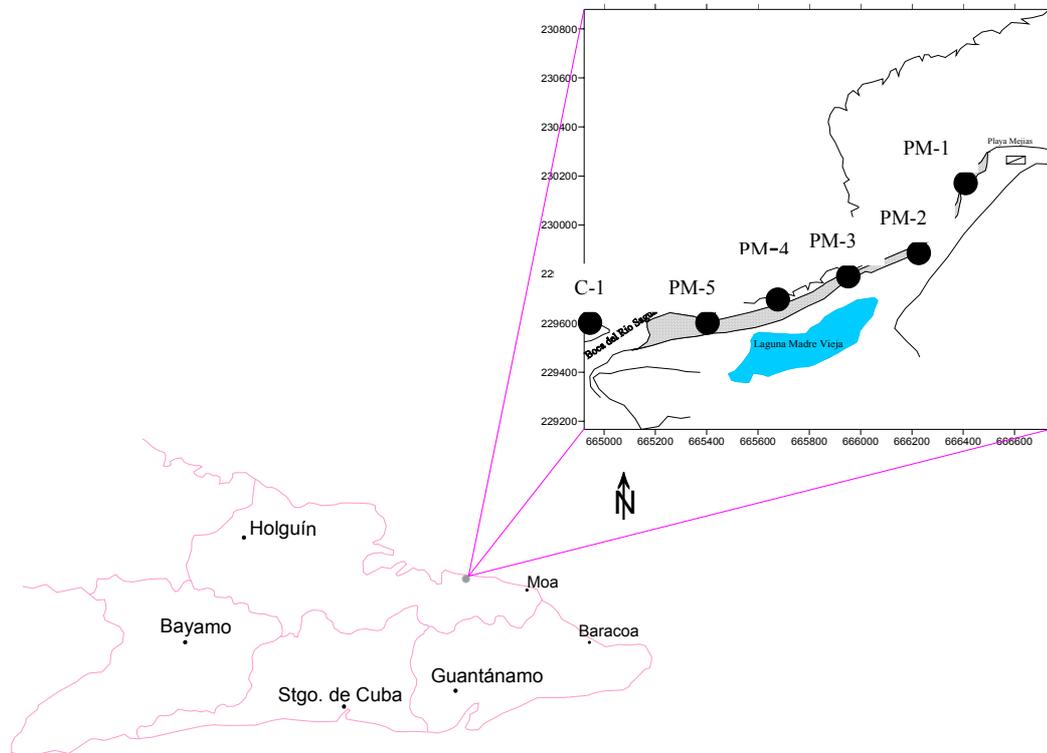


Figura 1. Esquema de ubicación geográfica del área de estudio

1.2.2. Hidrografía

La región posee una hidrografía bastante desarrollada, conformada por numerosos ríos y arroyos que nacen en el macizo montañoso Mayarí-Baracoa y desembocan en el Océano Atlántico; entre ellos el río Sagua de Tánamo, Castro, Santa Catalina, Miguel, Cananova, Cabañas, Moa, Cayo Guam, Quesigua, Jiguaní y otros de gran caudal.

Estos ríos generalmente presentan una forma sinuosa y son alimentados por varios afluentes con los cuales conforman redes de tipo detríticas y a veces subparalelas. El caudal guarda relación con las épocas del año, en período de seca presentan caudal mínimo y manifiestan un carácter intermitente, en cambio en la época de lluvia aumenta vertiginosamente su nivel y con ello la capacidad de transporte, lo que permite el acarreo en gran medida de la cantidad de sedimentos que posteriormente son depositados en el cause y la desembocadura, formando en esta última amplios conos de deyección.

1.2.3. Clima, vegetación y fauna

El clima que prevalece es semiseco o semiárido con régimen de vientos variables, pero con una dirección predominante al NW. Ocasionalmente se presentan fuertes vientos provenientes de las zonas áridas del este. La corriente marina principal es la de California, la cual fluye paralela a la costa en dirección sureste; en sentido opuesto circula la contracorriente de California que se manifiesta como una corriente superficial en la zona cercana a la costa. se observan abundantes precipitaciones con una distribución promedio anual alta; destacándose dos períodos con diferencias bien marcadas: Uno lluvioso que corresponde del mes de Mayo a Octubre y uno seco en los meses de Noviembre a Abril.

Las precipitaciones promedio anuales oscilan entre 800 y 1000 milímetros y la evaporación alcanza aproximadamente 1700 milímetros.

Las temperaturas varían entre 25,4 o más, siendo el promedio de 26 °C, la humedad relativa entre 60 y 90 %.

La vegetación predominante es típicamente costera, representada fundamentalmente por cocoteros, uvas caletas, llanuras, pinos etc. Hacia las partes pantanosas y anegadizas existe una vegetación pobre, representada por mangles. En esta zona se desarrollan herbazales y proteuses con aislados arbustos muy secundarios y bosques esclerófilos húmedos en serpentinitas colinosas.

La fauna está representada fundamentalmente por animales marinos, entre los que se destacan los moluscos, así como algunas aves que se desarrollan en esta habitad. Además existen otros animales domésticos.

1.2.4. Industria, agricultura y comunicaciones.

La región ofrece dos caras muy diferenciadas en sus características y formas de vida. La industria del níquel es la actividad principal de esta región ya que un gran sector se dedica a ella. Predomina la pequeña y mediana empresa y existe, además, un importante movimiento cooperativista; sin olvidar la actividad económica de la pesca a la que se dedican todos los pueblos costeros. La vegetación es muy prolifera con áreas forestales y parques naturales. El

sector rural no ha sufrido demasiadas transformaciones. En este entorno perviven las tradiciones culturales y folklóricas vascas.

Por sus condiciones orográficas conserva perfectamente su entorno de caseríos y huertas; sus características peculiares, aglutinan desde enclaves costeros de tradición comercial (caña de azúcar, algunas viandas y vegetales) hasta la actividad cafetalera en las montañas de Sagua-Moa-Baracoa.

La vía de acceso se realiza por la carretera Sagua-Moa, además por otras auxiliares que posibilitan la actividad comercial y cultural de la zona.

1.3. Principales rasgos geológicos de la región.

El área de estudio se caracteriza desde el punto de vista geológico por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del “neautoctono” (fig..2) (Iturralde-Vinent, 1996).

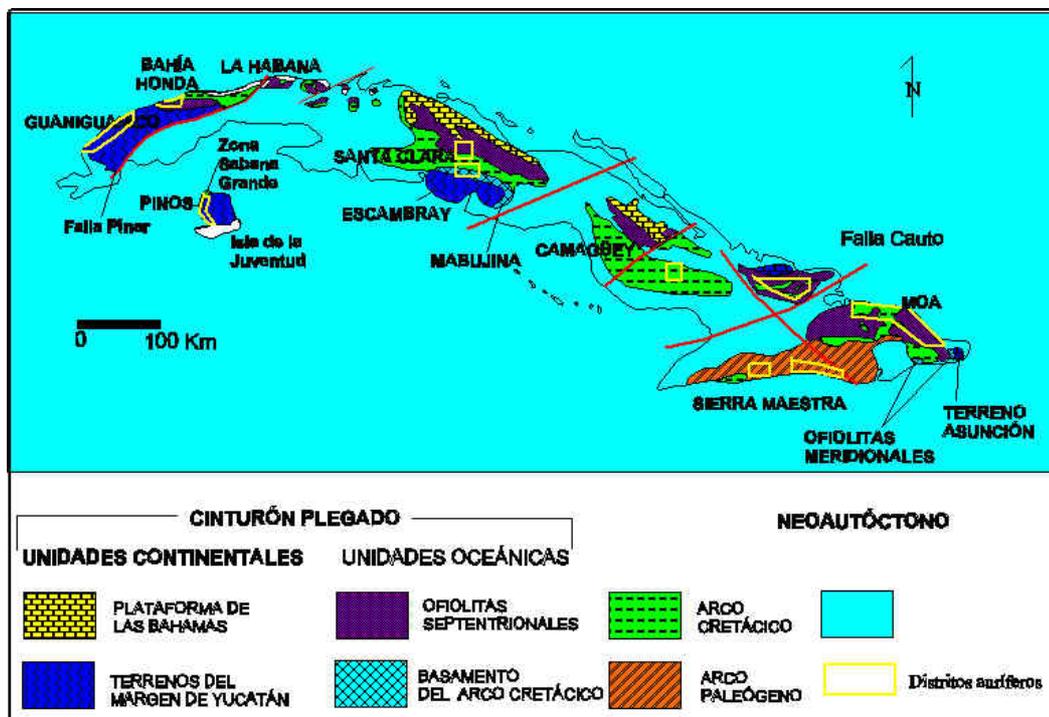


FIGURA 1

Figura 2. Mapa geológico esquemático de Cuba, mostrando los afloramientos del cinturón plegado y del Neautoctono (adaptado de Iturralde – Vinent, 1996).

En la región Sagua de Tánamo – Moa, se pueden reconocer 6 unidades tectono-estratigráficas (UTE) principales: 1) rocas de afinidad ofiolítica, 2) materiales volcánicos y volcano-sedimentarios asociados a un arco de islas Cretácico, 3) materiales asociados a cuencas transportadas del Campaniense Tardío al Daniense, 4) rocas volcánicas y volcano-sedimentarias pertenecientes al arco de islas terciario, 5) materiales asociados a cuencas transportadas del Eoceno medio al Oligoceno, y 6) materiales asociados a un estadio neoplatafórmico “Neoautóctono” desde el Oligoceno al Reciente (Iturralde, 1999 a, y 1998, Proenza et. al. 2000) (Anexo 1).

Como se observa en el mapa geológico de la región de estudio (Anexo 1), las rocas de afinidad ofiolítica son las de mayor distribución en el área, enmarcándose dentro de la llamada Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Iturralde-Vinent, 1994, 1996a y 1998). Estas ofiolitas han sido interpretadas como representativas de un sistema de cuenca de retroarco-mar marginal, ubicado paleogeográficamente entre la Plataforma de Las Bahamas y el Arco Volcánico de las Antillas Mayores (Iturralde-Vinent, 1994, 1996b, 1998; Cobiella, 2000).

La faja ofiolítica constituye un cuerpo alóctono tabular con una longitud de 170 Km, geomorfológicamente dividido en diferentes partes por el valle del río Sagua de Tánamo y las montañas del Purial. Posee un espesor que en ocasiones sobrepasa los 1000 m (Iturralde-Vinent, 1996a, 1998).

La secuencia, de piso a techo, está compuesta por peridotitas con texturas de tectonitas, “cumulados ultramáficos”, cumulados máficos, diques de diabasas y secuencias efusivas-sedimentarias. Estas ofiolitas se disponen en forma de escamas tectónicas, cabalgando las rocas volcano-sedimentarias del arco de isla Cretácico, las cuales están cubiertas transgresivamente, por secuencias flyschoides y olistostrómicas del Maestrichtiano al Paleoceno (formaciones Mícara y La Picota). En ocasiones las ofiolitas están cubiertas por materiales volcano-sedimentarios del arco de isla del Paleógeno y por secuencias terrígenas-carbonatas más jóvenes (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1998; Proenza, 1997; Cobiella, 1997, 2000).

Complejo Ofiolítico Mayarí-Cristal

El complejo ofiolítico Mayarí-Cristal se ubica en la parte occidental de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa, ocupando un área aproximada de 1 200 km² y posee una morfología tabular con un espesor de 1 a 1,5 km (Fonseca y otros, 1985b). En él se han descrito, principalmente, los complejos ultramáficos y diques de diabasas; en cambio la existencia del complejo de gabros es polémica y el volcano-sedimentario no ha sido localizado (Iturralde-Vinent, 1996a, 1998; Proenza, 1997, Proenza y otros, 1999a, 2000; Cobiella, 2000).

Las rocas ultramáficas están constituidas predominantemente por harzburgitas y dunitas, y raras veces lherzolitas y piroxenitas (Fonseca y otros, 1985a; Nekrasov y otros, 1989; Proenza y otros, 1999a).

Al sur del Macizo Mayarí-Cristal, se localiza el "melange La Corea", la cual es una zona metamórfica de unos 25 km² (Adamovich y Chejovich, 1964; Nagy et al., 1983; Millán, 1996). Esta zona se compone de diferentes bloques separados por una matriz serpentinitica. Predominan las rocas metamórficas de alta presión, así como metabasitas de baja presión de origen ofiolítico (Millán, 1996). Las metamorfitas de alta presión son anfibolitas granatíferas y bloques aislados de esquistos glaucofánicos; además existen esquistos verdes, esquistos tremolíticos, actinolíticos, diques de pegmatitas y granitoides masivos.

Las metamorfitas de La Corea, afloran hacia el extremo suroeste de la región de estudio (Anexo 1.1), estando constituidas por rocas metamórficas de diferentes facies, entre las que se distinguen:

- ✓ Facies de los esquistos verdes: A estas facies se asocian esquistos micáceos, grafiticos, cuarcíferos y otros.
- ✓ Facies de las corneanas: Con esta facie, típica de metamorfismo de contacto, se asocian mármoles, cuarcitas secundarias, etc.
- ✓ Facies de las anfibolitas: Es una facie de altas presiones y temperaturas con la cual se asocian las anfibolitas propiamente dichas.

Este melange está constituido por bloques totalmente alóctonos y exóticos enclavados en la Sierra del Cristal. En esta faja ofiolítica también existen numerosos cuerpos de cromitas en diferentes niveles estructurales del corte ofiolítico. Las cromitas ricas en Cr se localizan en peridotitas con texturas de tectonitas (tipo Mayarí) y las ricas en Al en la denominada *Moho Transition Zone* (tipo Moa-Baracoa) (Proenza, 1998; Proenza et al., 1999a). Sin embargo, en la zona de Sagua de Tánamo (extremo oriental del macizo Mayarí-Cristal) aparecen tanto depósitos de cromita ricos en Cr, como ricos en Al. En esta zona las rocas de afinidad ofiolíticas (principalmente peridotitas serpentinizadas) forman una zona compleja de “melange” (Proenza et al., 1999a).

En Mayarí-Cristal también están presentes diques de piroxenitas, los cuales cortan las peridotitas y los cuerpos de cromitas (Iturralde, 1996a, 1998; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a; 2000; Cobiella, 2000).

El complejo de gabros no se encuentra bien expuesto y su presencia ha sido cuestionada. Knipper y Cabrera (1974) reconocen una zona compuesta por gabros normales, gabros anfibolitizados juntos con diabasas en el extremo noroccidental del macizo; en cambio, Fonseca y otros (1985b) y Nekrasov y otros (1989) no reconocen la existencia del complejo de gabros. Navarrete y Rodríguez (1991), describen la presencia de gabros, microgabros y gabros-diabasas y los relacionan con el complejo cumulativo máfico, aunque plantean que el gabro no es la variedad predominante. Iturralde-Vinent (1996a, 1998) reconoce una zona de gabros junto con diques de diabasas.

Los diques de diabasas presentan pocos centímetros de espesor y se disponen paralelos, con una separación de 1 a 5 m (Iturralde-Vinent, 1996a, 1998). Este complejo tiene un espesor de 500 m (Fonseca y otros, 1985a). Actualmente se cuestiona mucho la existencia de un complejo de diques paralelos como los existentes en otras regiones del mundo.

Complejo Ofiolítico Moa-Baracoa

Este macizo de rocas de afinidad ofiolítica, se ubica en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, ocupando una área aproximada de 1500 km² (Proenza et al., 1999a, 1999b). En esta

Faja se han descrito tanto niveles mantélicos (Jurásico-Cretácico Temprano) como corticales (Hauteriviano-Campaniano) (Iturralde-Vinent, 1996a).

Según Proenza et al. (2003) y Marchesi et al. (2003), en el macizo Moa-Baracoa se pueden reconocer los niveles mantélicos, niveles de gabros bandeados inferiores y niveles volcánicos discordantes. Sin embargo, los niveles de gabros isotrópicos superiores y de diques de diabasas de una secuencia ofiolítica ideal no afloran. Las diabasas descritas en la región aparecen principalmente en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo (Torres, 1987).

La secuencia mantélica tiene un espesor de “paleomanto” superior a 2.2 km y los niveles de gabros bandeados de aproximadamente 300 m (Proenza, J. et al. 2003).

El complejo ultramáfico, desde el punto de vista petrológico, se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado dunitas; también se han descrito dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas (García y Fonseca, 1994; Proenza y otros, 1999a, 1999b).

Los cumulos de gabros forman grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico. La dimensión de estos cuerpos oscila entre 1 y 3 km de ancho, por 10 a 15 km de longitud. El contacto entre los gabros y el complejo ultramáfico generalmente es tectónico. Los gabros muchas veces están cubiertos por mantos de rocas ultramáficas (Fonseca y otros, 1985b), aunque Andó y otros (1989) plantean que en algunos sectores el contacto es transicional. Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronoritas, gabros, anortositas y noritas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca y otros, 1985a; Torres, 1987; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a, 1999b).

El complejo volcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico (Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a; 2000) y está representado por la Fm. Quibiján (Iturralde-Vinent, 1996, 1998), la cual incluye basaltos amigdaloides y porfíricos (algunas veces con estructura de almohadilla), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de *cherts* y calizas (Quintas, 1989).

Bajo las ofiolitas de la región de estudio subyacen, a través de una falla subhorizontal, rocas volcano-sedimentarias del arco de islas Cretácico. Aunque en otras regiones los cuerpos ofiolíticos aparecen cubiertos por materiales volcano-sedimentarios pertenecientes al arco de islas del Paleógeno (Fm. Sabaneta) y por secuencias terrígenas-carbonatadas más jóvenes (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1996b). Los principales afloramientos de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa están representados por los macizos Mayarí-Cristal y Moa-Baracoa (Proenza, 1998; Proenza et al., 1999a; 1999b).

Arco Volcánico Cretácico

Las rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de edad cretácica están representadas por la Fm. Santo Domingo. Esta se compone por tobas y tufitas con cuerpos de lavas y calizas intercalados (Iturralde-Vinent, 1976; Proenza y Carralero, 1994). Los materiales de la Fm. Santo Domingo se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas del macizo Mayarí-Baracoa. Muchas veces los contactos coinciden con zonas que presentan una mezcla de bloques de vulcanitas pertenecientes al arco y de ofiolitas.

Las rocas representativas de esta formación afloran hacia la parte centro occidental de la región de estudio (al norte y sur de la Sierra Cristal), en la parte alta de la cuenca del río Sagua de Tánamo, en la región de Farallones - Calentura y en una pequeña área en la localidad de Centeno. Los materiales de la Fm. Santo Domingo se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas de la Faja Mayarí -Baracoa.

También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Iturralde-Vinent, 1976, 1996b, 1998; Proenza y Carralero, 1994; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990; Gyarmati y otros, 1997).

El complejo Cerrajón de edad Aptiano-Turoniano (Rodríguez, A., 1998 y Ramayo, L., 2003), representante de la actividad volcánica Cretácica en la región de estudio, está compuesto por diques subparalelos de diabasas, gabro-diabasas, microgabros de espesores variables entre 0,8 y 2,5 m y vulcanitas basálticas y andesito-basálticas (Gyarmati, 2001; Ramayo 2003) Este complejo constituye el encajante de las mineralizaciones hidrotermales Hato Viejo y El Rifle-Los

Calderos, constituidas por cuerpos filoneanos y brechas hidrotermales con presencia de fases minerales de Ag y Au, rodeadas por aureolas de alteración filica, argílica y propilítica, emplazadas dentro de este complejo (Ramayo, 2003).

La actividad volcánica se extendió desde el Aptiano al Campaniano Medio (Iturralde-Vinent, 1994) y fue el resultado de una subducción intraoceánica (Iturralde-Vinent, 1998).

Secuencias Sedimentarias del Campaniano Tardío-Daniano

Los materiales asociados a las cuencas transportadas del Campaniano Tardío-Daniano se componen de las formaciones Mícara y La Picota. Dentro de estas formaciones se encuentran secuencias típicamente olistostrómicas y con características de *melange* (Fm. La Picota y parte de la Fm. Mícara), las cuales están compuestas por fragmentos y bloques procedentes de la secuencia ofiolítica y de las rocas volcánicas Cretácicas (Quintas, 1989). En consecuencia, estas unidades litoestratigráficas constituyen un registro temporal del proceso emplazamiento tectónico (obducción) de las ofiolitas, el cual estuvo enmarcado en el tiempo de desarrollo de estas cuencas.

La formación Mícara está compuesta de facies terrígenas y terrígenas carbonatadas de edad Maastrichtiano-Daniano. La secuencia inferior es de tipo molásica y la superior de tipo flysch. En la zona de Cananova, esta formación está compuestas por areniscas de granos medios, con intercalaciones olistostrómicas compuestas de areniscas y gravelitas, con bloques de diversos tamaños de rocas ígneas básicas (Quintas, 1989). El límite inferior no se ha observado, pero se supone discordante sobre la formación Santo Domingo. El área de afloramiento de la formación Mícara es muy diversa, aflorando en los flancos meridionales de la Sierra del Cristal, cuenca de Sagua de Tánamo, Mayarí Arriba, Sector de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

La formación La Picota tiene una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado. Existen dudas acerca de su pertenencia a esta formación o si son brechas tectónicas en algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges. De acuerdo a las características de esta

formación se estima que la misma se acumuló a finales del Cretácico e incluso en el Paleoceno inicial, asociada al emplazamiento de las ofiolitas, que constituyeron su principal fuente de suministro. Aflora en los flancos meridionales de la Sierra del Cristal, cuenca de Sagua de Tánamo, la base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes.

La formación Gran Tierra es una secuencia terrígeno-carbonatada que aflora en los flancos meridionales de la sierra de Cristal, constituyendo en Cuba Oriental el límite entre el Cretácico y el Terciario en forma concordante. En las rocas arcillosas y margosas de esta formación se han registrado los primeros vestigios del vulcanismo paleogénico en forma de tobas.

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

Arco Volcánico del Terciario

Entre el Paleoceno Inicial y el Eoceno Medio Inferior se desarrolló otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas en Cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla y en la región de estudio está representada por la Fm Sabaneta (Iturralde-Vinent, 1976, 1995; Proenza y Carralero, 1994; Quintas et al., 1995), la cuál ha sido depositada en una cuenca de back arc (Iturralde-Vinent, 1996b).

La unidad se compone de rocas epiclásticas (tobas, tufitas) (Iturralde-Vinent, 1976, 1996b; Proenza y Carralero, 1994; Quintas et al., 1996, García, M., et al., 1996). Las rocas pertenecientes al arco de islas volcánico del Paleógeno yacen sobre los materiales deformados del arco Cretácico, las ofiolitas y las cuencas de *piggy back* del Campaniano Tardío-Daniano.

La Formación Sabaneta está constituida por rocas vulcanógenas-sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizados o montmorillonitizados, con intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas y rara vez basaltos. En Farallones el corte está compuesto por 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. En los Indios de Cananova, en la base de la formación se intercalan areniscas de granos gruesos y algunas brechas, donde fueron encontrados fósiles que indican una edad Paleoceno-Daniano. Esta formación aflora en los flancos septentrional y meridional de la sierra cristal, en la cuenca de Sagua de Tánamo de Tánamo, en un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey.

Las rocas pertenecientes al arco de islas volcánico del Paleógeno yacen sobre los materiales deformados del arco Cretácico, las ofiolitas y las cuencas de *piggy back* del Campaniano Tardío-Daniano.

Secuencias sedimentarias del Eoceno Medio-Oligoceno

Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas por las formaciones Puerto Boniato, Charco Redondo, Sagua de Tánamo, Sierra de Capiro, Cilindro, Mucaral, y Maquey.

La Fm. Puerto Boniato (Eoceno Medio) se compone principalmente de calizas organo-detríticas, aporcelanadas, algáceas y margas (Nagy y otros, 1976), mientras que la Fm. Sagua de Tánamo está compuesta por margas y calizas (Albear y otros, 1988; Quintas, 1989, 1996).

La Fm. Charco Redondo (Eoceno Medio) está compuesta por calizas compactas organo-detríticas, fosilíferas, de color variable. En la parte inferior del corte son frecuentes las brechas. En esta parte predomina la estratificación gruesa, mientras que en la superior la fina (Cobiella, 1978; Quintas, 1989, 1996; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

La Fm. Sierra de Capiro (Eoceno Superior) se compone de lutitas y margas con intercalaciones de lutitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas (Cobiella, 1978, Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

La Fm. Cilindro (Eoceno Medio-Superior) se conforma de conglomerados polimícticos con estratificación lenticular y a veces cruzada, débilmente cementada con lentes de areniscas que contienen lignito. La matriz es arenítica polimíctica, conteniendo carbonato (Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990; Crespo, 1996).

La Fm. Mucaral (Eoceno Medio-Oligoceno Inferior) está compuesta por margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, lutitas y tobas (Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

La Fm. Maquey (Oligoceno-Mioceno Inferior) está conformada fundamentalmente por alternancia de lutitas, areniscas, arcillas calcáreas y espesor variable de calizas biodetríticas (Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Crespo, 1996).

Secuencias sedimentarias del Neoautoctono.

El "Neoautóctono" está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del "cinturón plegado", donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas, aparece representado en la región por las formaciones Majimiana del Oligoceno Superior-Mioceno Medio, Jagüeyes del Mioceno Inferior a Mioceno Medio y Júcaro del Mioceno Superior.

Todas estas formaciones son esencialmente carbonatadas con materiales clásticos subordinados, predominando en ella diferentes variedades de calizas (masivas, biogénicas, organo-detríticas y arcillosas), margas, calcarenitas y areniscas.

Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por su yacencia monoclinal suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones jóvenes. La formación Júcaro está constituida por calizas margosas poco consolidadas y a veces por margas de edad Oligoceno-Mioceno. Esta formación aflora por toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey. La Formación Majimiana está constituida por calizas organo-detríticas 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, lo que ha permitido asignarle una edad Oligoceno Superior hasta el Mioceno. Aflora en la región de Yamanigüey, formando una franja por toda la costa.

Sobre todas las litologías antes descritas se encuentran los depósitos cuaternarios que constituyen una cobertura prácticamente continua de génesis predominantemente continental de pocas variaciones diagenéticas y pequeños espesores. Estos depósitos están constituidos por calizas organo-detríticas 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.

Estos depósitos constituyen una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinuo en las partes interiores.

1.4. Geología del placer Mejías

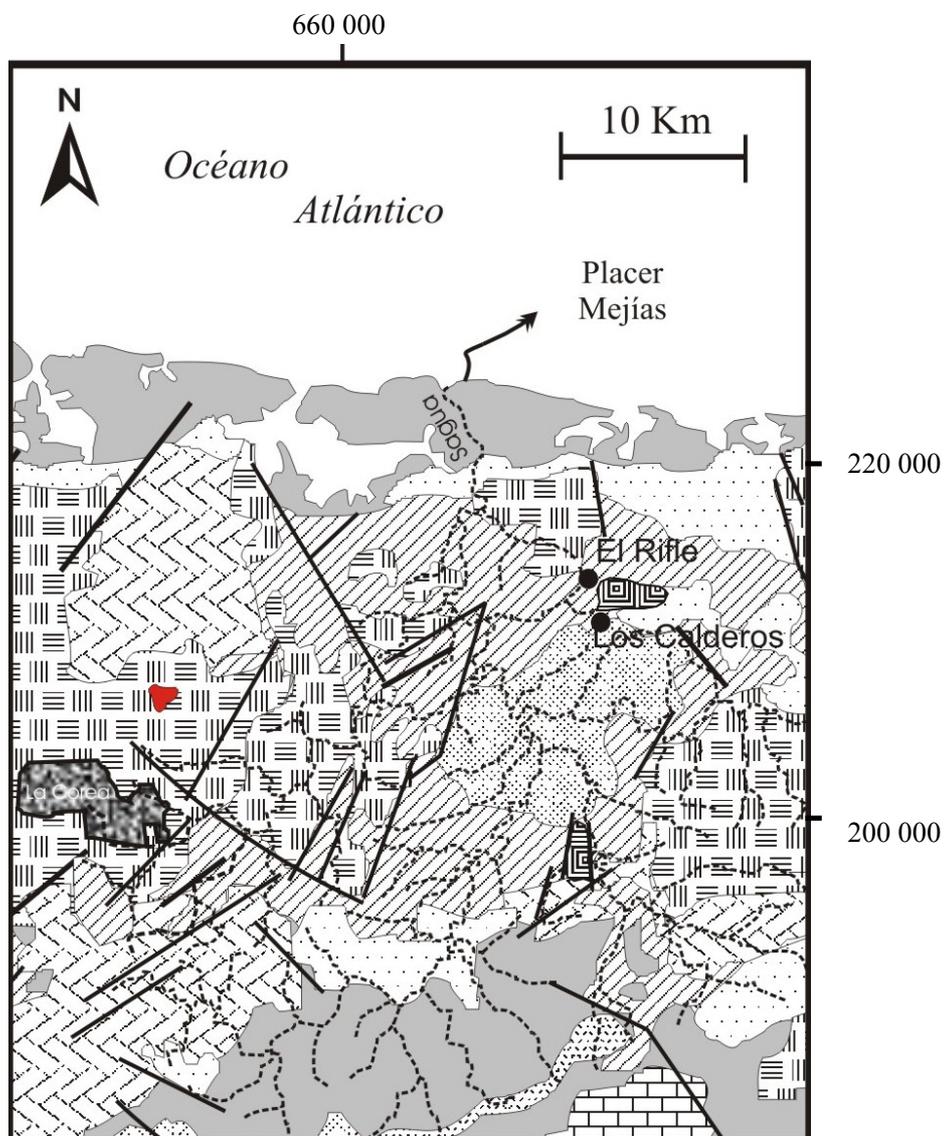
El placer Mejías constituye el primer ejemplo de placeres laterales marinos descubierto en el noreste de Cuba (Kulaskov et al., 1990). Este depósito está compuesto por arenas negras de grano fino con elevados contenidos de elementos pesados (Díaz-Martínez, R. et al., 1998). A ambos lados de la desembocadura del río Sagua de Tánamo afloran las arenas negras muy enriquecidas en minerales pesados y cuya mitad occidental corresponde a la playa El Canal y la parte oriental a la playa Mejías.

La playa Mejías tiene forma de media luna o de una hoz con una anchura y largura de 350 m y 1300 m respectivamente (Díaz-Martínez, R., 1996). La potencia máxima observable del placer es de 2 m, acunándose paulatinamente hacia los extremos.

Los cuerpos están compuestos por numerosos lentes paralelos a la costa, con espesores variables que oscilan entre 5 y 40 centímetros. Las anomalías magnéticas reflejan la estructura interna del placer y la disposición espacial de los cuerpos, todos ellos paralelos a la costa (Díaz-Martínez y

Batista-Fernández, J., 1996), razón está que permite deducir que su formación no está vinculada a paleocauces del río Sagua de Tánamo sino que ha sido un mecanismo en el cual han estado presente la acción combinada del oleaje, las mareas, las tormentas marinas y las corrientes laterales. (Díaz-Martínez, R., 1997). En profundidad se observa alternancias de capas oscuras y claras con espesores variables e inferiores a los 40 cm. El 94 % de estas arenas presentan granulometría inferior a los 0,2 mm.

La composición mineralógica de las arenas del placer Mejías refleja el variado mosaico de litologías por las que atraviesan los diferentes afluentes del río Sagua de Tánamo (fig. 3).



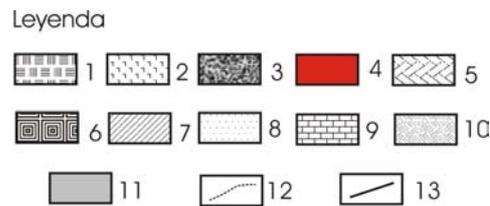


Figura 3. Esquema geológico de la cuenca del río Sagua, simplificado a partir de Mossakovskiy et al. (1989 y modificado por el autor). Se ha superpuesto el trazado de la red hidrográfica del río Sagua (líneas discontinuas). 1) peridotitas (harzburgitas y dunitas); 2) gabros. 3) anfibolitas, plagiogneises y hornblenditas. 4). Intrusivos ácidos 5) Andesitas, basaltos, tobas y tufitas, calizas 6) Diques subparalelos de diabasas, gabros diabasas. 7) Olistostromas de serpentinitas, turbiditas y sedimentos vulcanomícticos y serpentinoclásticos. 8) tobas y tufitas. 9) Calizas. 10) Molasa flyschoides. Cobertera Neógena-Cuaternaria: 11) calizas, gravas, arenas, arcillas. ; 12) Red Fluvial; 13) Fallas.

Los sedimentos que alimentan al placer Mejías provienen de fuentes diferentes tales como rocas de afinidad ofiolítica, rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias asociados a un arco de islas Cretácico, materiales asociados a cuencas transportadas (*piggy back*) del Campaniense Tardío al Daniense, rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias relacionados con un arco de islas Terciario, materiales asociados a cuencas transportadas del Eoceno Medio al Oligoceno y los materiales asociados a un estadio neoplatafórmico del Oligoceno al reciente.

CAPÍTULO II. METODOLOGIA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS.

2.1. INTRODUCCION

Para dar respuesta a los objetivos propuestos en esta investigación se aplicaron diferentes métodos de investigaciones geológicas entre las que se mencionan la geofísica, con el empleo del Georadar, las perforaciones de pozos criollos y el método mineralógico de concentrados pesados, los cuales no difieren sustancialmente de aquellos que se emplean actualmente en el mundo, durante los trabajos de exploración geológica de depósitos de placeres costeros.

En el presente capítulo se hace una descripción detallada de la metodología empleada durante el estudio de los principales rasgos morfológicos y composición mineralógica de los diferentes cuerpos minerales de arenas negras del placer Mejías.

Los procedimientos metodológicos, sobre todo, los de campo se corresponden plenamente con los trabajos de prospección para los cuales el método de muestreo de los concentrados pesados es el fundamental. La investigación contempló tres etapas principales: Trabajos preliminares, de campo y de laboratorio.

2.2. TRABAJOS PRELIMINARES

En esta etapa se consultó la bibliografía existente en Internet acerca de la geología de los placeres marino-costeros, así como las publicaciones seriadas e indexadas en revistas nacionales e internacionales tales como Minería y Geología, Actas Geológica Hispánica y otras de gran impacto internacional. También se consultaron las tesis de grado defendidas en años anteriores.

Durante esta etapa se realizó el diseño de la investigación y se receptionaron los diferentes mapas geológicos los cuales fueron digitalizados con el objetivo de facilitar el manejo de la información y la toma de decisiones. Dentro de los materiales gráficos utilizados se encuentran:

- Mapa geológico de la región Mayarí- Moa, 1: 250 000 (Albear y otros, 1988).
- Mapa geológico de Mayarí- Moa, 1: 100 000 (Gyarmati y Leye O’Conor, 1990).
- Mapa geológico de la República de Cuba a escala 1: 100 000 del Instituto de Geología y Paleontología
- Hojas topográficas a escala 1: 25 000 y 1:10 000 de la zona de estudio.

2.3. TRABAJOS DE CAMPO

Los trabajos de campo se efectuaron en los meses de marzo a abril del 2005. En esta etapa se emplearon varios métodos de investigación geológica los cuales serán explicados a continuación.

2.3.1. Método geofísico

En el lugar Mejías se emplea por primera vez el método electromagnético del Georadar. Se construyeron 17 perfiles orientados perpendicularmente a la línea de costa y amarrados con ayuda de un GPS marca Magellan 315 de procedencia norteamericana y la hoja topográfica escala 1:10 000 de Guajaca.

El sistema G.P.R. (Ground Probing Radar) es un método de investigación del subsuelo no destructivo que aprovecha los fenómenos físicos de la propagación de las ondas electromagnéticas.

Dependiendo de las características dieléctricas del subsuelo, se generan reflexiones que son detectadas y analizadas por el RADAR, que por medio de un Procesador Digital de Señal (DSP), filtra y analiza todas las señales recibidas.

Un "*software específico de adquisición*" se encarga de una primera conformación de las señales, la presentación visual de las mismas y la grabación en el disco duro del sistema de toda la información adquirida. Las señales tratadas por el "*software de interpretación*", permiten al técnico determinar exactamente la posición y la profundidad de todas las capas de arenas en el lugar.

Dentro de los métodos conocidos actualmente se conoce el de localización activa. Este se realiza mediante un equipo radioeléctrico (emisor-receptor) que detecta y calcula la profundidad de las infraestructuras no dieléctricas mediante la inducción de una señal de muy baja frecuencia desde la superficie. El equipo posee dos antenas magnéticas enfasadas en el plano vertical, que disminuyen la posibilidad de interferencias por el entorno y aumentan su ganancia consiguiendo alta precisión en la localización y en el cálculo de profundidad.

Se utilizó una computadora portátil marca Toshiba de fabricación japonesa la cual procesa la señal y procesa la información geofísica. Los 10 primeros perfiles fueron ubicados en una red de 10m x 1 m permitiendo realizar las mediciones en cada perfil metro a metro. Los 7 restantes perfiles fueron distanciados cada 20 metros.

2.3.2. Perforación de pozos criollos

Los pozos criollos se construyeron con el objetivo de describir los diferentes cuerpos minerales y posteriormente tomar las muestras. En primer lugar, se ubicaba el punto con un GPS para tomar las coordenadas del pozo, posteriormente con una pala se efectuaba la perforación hasta alcanzar el nivel freático. Los pozos se construyeron en la berma de la playa con una sección rectangular de 0.80m x 0.50 m, quedando el lado más largo perpendicular a la línea de costa. Las coordenadas y número de cada pozo criollo fueron anotados en la libreta de campo.

2.3.3. Documentación de los pozos criollos

La documentación de los pozos consistió en una breve descripción de las diferentes capas de arenas negras y grises y la medición de sus elementos de yacencia y espesores. Al mismo tiempo se tomaron fotografías con una cámara de marca Nikon. Todas las observaciones visuales se asentaron en la libreta de campo.

2.3.4. Toma de muestras.

Se tomaron muestras de las capas más oscuras. Las capas de arenas grises intercaladas entre las capas de arenas negras no se muestrearon pues se cuenta con datos suficientes de trabajos anteriores que estas arenas están empobrecidas en minerales útiles. Las arenas blancas con elevadas concentraciones de material biogénico no fueron objeto de muestreo.

Las muestras se tomaron por el método de surco continuo con sección de 0,3 m de ancho por 0, 10 m de profundidad; el largo de la canal o surco estuvo en dependencia de la potencia de las capas enriquecidas. En total se tomaron 18 muestras. Cada capa fue documentada adecuadamente y descrita en una libreta de campo (fig. 4). Las muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis mineralógico del ISMM de Moa para los análisis correspondientes.



Figura 4. Sección transversal del pozo E (Foto digital).

Capa 1: Arenas muy negras de superficie. Potencia variable, como promedio 25 cm.

Capa 2: Arenas oscuras con intercalaciones milimétricas de arenas grises. La potencia oscila entre 5-15 cm, con valor promedio de 10 cm.

Capa 3: Capa conformada por numerosas capitas de arenas negras y grises. Las capitas de arenas negras oscilan entre 1 y 3 cm. La capa completa posee una potencia de aproximadamente 15 cm.

Capa 4: Capa de arenas muy negras y de espesor variable con valor promedio de 5cm.

Capa 5: Capa de arenas negras con potencia promedio de 3cm.

Capa 6: Capa de arenas negras en la base del pozo con espesor de 30cm.

Potencia total de capas negras: 85 cm

En los trabajos corrientes por el método geoquímico se considera como estándar un volumen inicial de $0,02 \text{ m}^3$; equivalente a 40–50 kg de material friable (Kuyarenko, A., 1967). En regiones de difícil acceso el volumen inicial puede disminuir hasta $0,01 \text{ m}^3$; equivalente a 20–30 kg. Los volúmenes y masas menores no son recomendables, pues se obtienen resultados muy poco representativos.

El volumen inicial de material friable para la obtención de los concentrados pesados también depende de los contenidos industriales y en gran medida de los materiales disponibles. Teniendo en cuenta lo anterior planteado, y por la disponibilidad del material detrítico en el área, (más del 60 % de arena está constituida por minerales pesados), se tomó un volumen inicial de material comprendido entre 0.5 y 1 litro, equivalente a una masa de aproximadamente 1500 gramos.

Tabla 1. Ubicación y cantidad de muestras recolectadas.

Localidad	Objetos muestreados	Pozos criollos	Cantidad de muestras recolectadas	Observaciones	Método de muestreo empleado
Frank País	Playa El Canal	1	6	Arenas negras	Surco continuo
Frank País	Playa Mejías	5	12	Arenas negras	Surco continuo

2.4. TRABAJOS DE LABORATORIO

Durante la realización de los trabajos de laboratorio se confrontaron algunas dificultades materiales, que aunque no incidieron en el cumplimiento de los objetivos de la presente tesis crearon cierta incertidumbre en relación al tiempo de que se disponía para su ejecución. Dentro de estos aspectos negativos se señala la poca cantidad de tetrabromoetano existente en el laboratorio y la rotura en dos ocasiones de uno de los motores del separador electromagnético. No obstante a lo antes expuesto todas las operaciones y análisis fueron realizados satisfactoriamente y la tesis llegó a su feliz término en la fecha planificada por la dirección del Departamento de Geología.

A continuación se procede a explicar detalladamente todos los procedimientos de preparación de muestras y de análisis mineralógicos aplicados en la presente tesis de grado con vista a garantizar los resultados esperados.

2.4.1. Preparación de las muestras para los análisis de laboratorio

Los concentrados pesados obtenidos en condiciones de campo y trasladados a los laboratorios de la facultad de geología del ISMM de Moa fueron sometidos a un proceso de preparación con

vistas a la realización de los análisis correspondientes. La metodología de preparación de las muestras de concentrados pesados se observa en la figura 5.

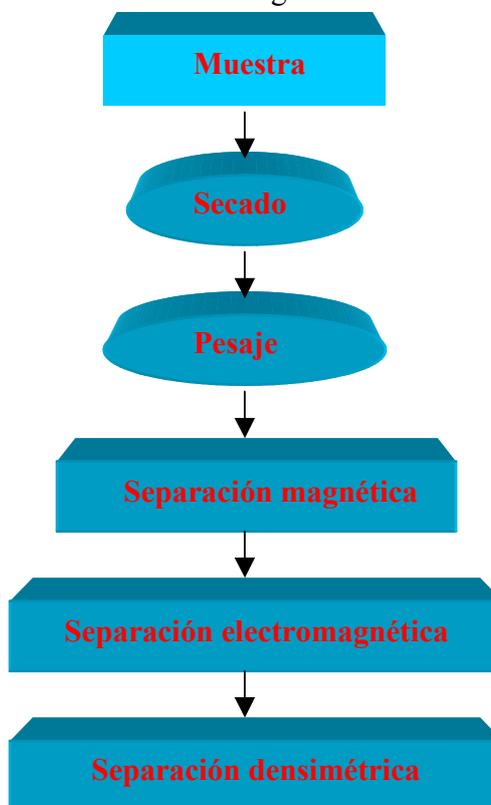


Figura 5. Esquema de preparación de los concentrados pesados a escala de laboratorio.

A continuación se procederá a explicar detalladamente cada una de las operaciones de preparación de muestras para los análisis mineralógicos.

- **Secado**

Los concentrados pesados fueron colocados en cápsulas de porcelanas y secados en una estufa marca MEMMERT de procedencia alemana; el tiempo empleado fue de dos horas a temperatura de 60⁰ C. Posteriormente fueron envasados en sobres de papel etiquetados debidamente.

- **Pesaje**

El pesaje inicial del concentrado seco se efectuó con ayuda de una balanza analítica marca OWA LABOR de fabricación alemana, la cual realiza mediciones con un error de 0,1 g y capacidad máxima para pesar 1000g.

- **Separación magnética**

Las muestras secadas y pesadas fueron sometidas a un proceso de separación magnética, el cual consiste en someter cada muestra a la acción de un campo magnético. Esta separación se realizó a todas las muestras y para ello se empleó un imán de mano, marca SOCHNEV-5, de fabricación rusa.

La metodología consiste en verter la muestra sobre una hoja de papel, se desliza una regla plástica por encima del material hasta lograr una superficie plana de espesor equivalente al grosor de los granos minerales, para evitar el arrastre de minerales no magnéticos al pasar uno de los polos del imán. Los minerales atraídos son separados y colocados en un sobre de papel. Como resultado de esta operación se obtuvieron dos fracciones: Magnética (FM) y no magnética (FNM). La fracción magnética fue pesada, envasada en sobres de papel etiquetados debidamente y guardada para su posterior análisis mineralógico.

- **Separación electromagnética**

La fracción no magnética (FNM) fue sometida a una separación electromagnética con la ayuda de un separador electromagnético de inducción tipo “Rodillo”, de fabricación rusa. La intensidad de campo fue de 5 y 7 amperes y el ángulo de inclinación de la canal vibrante de 2 grados. Esta operación consistió en hacer deslizar la muestra de forma continua a través de un campo electromagnético que opera al final de una canal vibratoria, el cual se divide en dos partes terminales. Los minerales paramagnéticos son atraídos por el campo, mientras que los diamagnéticos son rechazados y pasan a la parte inferior de la canal.

Al aplicar la separación electromagnética con intensidad de campo de 5 amperes se obtienen dos fracciones, la que es atraída por el campo denominada fracción electromagnética 1 (FEM1) y la que no es atraída por el campo. Esta última es nuevamente pasada por el campo electromagnético pero con intensidad de 7 amperes, obteniéndose la fracción electromagnética 2 (FEM2) y una fracción no electromagnética que en ocasiones se vuelve a repasar para obtener una fracción de mayor calidad; esta última es la que se somete posteriormente a la separación con líquido denso.

- **Separación granulométrica**

Comúnmente esta operación es la primera que se realiza durante los estudios mineralógicos de concentrados pesados; sin embargo en la presente investigación se decidió realizarla después de la separación electromagnética y solamente a la fracción no electromagnética obtenida con 7 amperes. Tal decisión obedeció a que se conoce que el rutilo, circón y oro se concentran significativamente en las fracciones muy finas (Díaz-MNartínez, R., 1998); Vila, A. 2004).

La separación granulométrica se realizó con un tamiz de 0.21 mm obteniéndose una fracción mayor que 0.21 mm y otra menor. Esta operación permitió ahorrar el líquido denso y ahorrar tiempo ya que como se explicó anteriormente en las fracciones gruesas no existe oro.

- **Separación con líquidos densos**

La separación con líquidos densos, cuando se investigan minerales tales como circón, rutilo, oro y minerales de elementos del grupo del platino en depósitos secundarios, es considerada la operación más importante, ya que las fracciones pesadas son las que concentran dichos minerales.

Este tipo de separación es la comúnmente utilizada para estos fines (Pérez Mateos, J. 1965) y no merece comentario alguno; sin embargo, investigaciones anteriores (Díaz, R. 1996; Ramayo, L. 1996; Vila, A. 2001, 2004) han demostrado que los concentrados pesados de la región de estudio son pobres en minerales no magnéticos pesados (< 1% en peso), razón por la cual la misma se realizó posterior a la separación magnética. Como resultado de esta operación los minerales de densidad mayor que el líquido, se hunden, mientras que los de menor densidad permanecen flotando obteniéndose dos fracciones: Fracción no electromagnética pesada (FNEMP) y fracción no electromagnética ligera (FNEML). Los materiales y reactivos utilizados para la obtención de las fracciones ligeras y pesadas fueron los siguientes:

- ✓ Agitador
- ✓ Alcohol etílico
- ✓ Cápsula de porcelana
- ✓ Embudo de cristal
- ✓ Embudo separador
- ✓ Erlenmeyer

- ✓ Papel de filtro
- ✓ Tetrabromoetano ($d= 2.8- 2.9\text{g/cm}^3$)

Como resultado de la preparación de las muestras se obtuvieron 56 fracciones (tabla 2), de las cuales 51 fueron analizadas bajo la lupa binocular. En esta tabla se puede observar que en los pozos PM-3, PM-4 y PM-5 correspondientes a la playa Mejías no se obtuvieron fracciones electromagnética; esto se debió a que el separador electromagnético sufrió dos serias averías que imposibilitaron continuar la separación electromagnética. Por tanto los análisis mineralógicos se realizaron a partir de las fracciones no electromagnéticas. La falta de tetrabromoetano tampoco permitió concluir las separaciones densimétricas, razón por la cual solamente se obtuvieron cinco fracciones pesadas y cinco ligeras. Las fracciones ligeras no se analizaron ya que las mismas no tienen interés para los minerales pesados.

Tabla 2. Cantidad de fracciones obtenidas para los análisis mineralógicos.

N/O	No. Pozo	FM	FEM1	FEM2	FNEM	FNEMP	FNEML	Total analizadas
1	C-1	5	5	5	1	4	4	20
2	PM-1	1	1	1	-	1	1	4
3	PM-2	6	3	3	3	-	-	15
4	PM-3	4	-	-	4	-	-	8
5	PM-4	1	-	-	1	-	-	2
6	PM-5	1	-	-	1	-	-	2
Σ		18	9	9	10	5	5	56

2.4.2. Análisis de laboratorio

Para alcanzar los objetivos propuestos en la presente investigación, se aplicó el análisis mineralógico tradicional. La aplicación de esta técnica ofrece datos que al ser procesados e interpretados correctamente profundizan en el conocimiento, sobre numerosos aspectos relacionados con las fuentes primarias de las mineralizaciones existentes en los placeres marino-costeros existentes.

Las muestras fueron colocadas en un porta muestra de cristal y observadas bajo la lupa binocular Tehnival 2. Se identificaron todas las fases minerales prestándole especial atención a la magnetita, cromita, ilmenita circón, rutilo y oro. Para cuantificar las fases minerales presentes en las diferentes fracciones, sobretudo los minerales de interés económico tales como magnetita,

cromita, ilmenita, circón y rutilo, se realizó el conteo de 100 granos minerales extraídos de una fila de grosor equivalente al tamaño de los granos minerales.

A partir de estos 100 granos se obtiene la frecuencia de aparición de cada fase mineral. Posteriormente se realizó el recálculo mineralógico considerando dicha frecuencia de aparición y los pesos de las fracciones; así se obtuvo el porcentaje en peso de cada mineral en la muestra. Para ejemplificar lo antes expuesto pongamos el siguiente ejemplo: En 100 granos minerales de la fracción no electromagnética pesada se encontraron: 25 granos de rutilo, 25 de circón, 20 de esfena, 5 de leucoxeno, 15 de apatito y 10 granos de oro. La fracción pesó 20 gramos y la muestra tuvo un peso inicial de 1000 gramos.

100 granos -----100 %

25 granos de rutilo----- X

$$X = \frac{25 \text{ granos de Rutilo} \times 100\%}{100 \text{ granos}}$$

X = 25 % de Rutilo (Frecuencia de aparición)

20 gramos (FNEMP) ----- 100 %

X gramos ----- 25 %

X = 5 gramos de Rutilo en la fracción.

1000 gramos (peso de la muestra) ----- 100 %

5 gramos son de Rutilo----- X %

X = 0.5 % en peso de Rutilo = 5 kg/t.

Los granos de oro presentes en cada muestra fueron separados del resto de los minerales, y observándolos detenidamente bajo la lupa binocular se describieron sus rasgos morfológicos y texturales.

La morfometría se realizó con ayuda de un ocular micrométrico que posee una escala de 1 milímetro en que cada división equivale a 0.01 mm. Con este ocular se midió el largo, ancho y