



ISMM

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO**

**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

**FACULTAD GEOLOGÍA MINAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

# **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Valoración Ingeniero Geológica de los suelos del sector Playa la Vaca para futuros trabajos constructivos.**

**Autor: Bosco Sachuma**

**Tutores: Ing. José Raúl Madrigal Valdivia  
M.Sc. José A. Carmenate Fernández**

**Moa- 2012**



# AGRADECIMIENTOS

---

Con la elaboración de dicho trabajo el cual me forja como un ingeniero geólogo, hay varias personas que le debo agradecer por su apoyo incondicional y otras que no se encuentran presentes pero son el motor impulsor a mi triunfo, a Dios por permitir que este momento llegara a ser realidad, al regalo más bello que ha pasado en todo este tiempo porque así me siento más seguro de llegar al final mi Josephine, a mi esposa por todo los momentos que apoyo y a la familia de mi esposa por su amor y cariño. Mis tutores por su mejor tutoría y su paciencia. Los profesores de geología y el grupo de geología 2007-2012. Mi amigo Lipuleni por ser mi mejor amigo.

La Revolución Cubana por darme una oportunidad en la vida para hacer un geólogo.



ISMM

# DEDICATORIA

---

*Este trabajo se lo quiero agradecer a todos aquellos que me han dado fuerza para llegar hasta aquí, a dios por darme la oportunidad de ser mis sueños hechos realidad, a mi hija, mi tío, mis hermanos, mi madre, mi esposa.*



# PENSAMIENTOS

---

**“La educación es el desarrollo en el hombre de toda la perfección de que su naturaleza es capaz.”**

**Immanuel Kant.**

**“Educar la inteligencia es ampliar el horizonte de sus deseos y de sus necesidades ”**

**J.R. Lowell**

**“Un mundo mejor es posible, pero hay que construirlo y defenderlo.”**

**Fidel Castro Luz**



# ÍNDICE

---

**Agradecimientos**

**Dedicatoria**

**Pensamiento**

**Índice**

**Resumen**

**Abstract.**

**INTRODUCCIÓN.....Pág.1**

**CAPITULO I: CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....Pág.8**

1.1 Generalidades..... Pág.8

1.2 Características Geológicas..... Pág.13

1.3 Geología del área de estudio..... Pág.14

1.4 Características Tectónicas del sector de estudio..... Pág.17

1.5 Características Hidrogeológicas..... Pág.21

1.6 Procesos Geodinámicas y Antrópicos..... .Pág.23

**CAPITULO II: METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LA INVESTIGACIÓN**

**DESARROLLADA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....Pág.26**

2.1 Introducción..... Pág.26

2.2 Etapa preliminar: .....Pág.28

2.3 Segunda etapa: ..... Pág.28

2.3.1 Valoración ingeniero geológica de los suelos del sector Playa la vaca para su uso en la construcción.....Pág.39

2.4 Tercera etapa: Interpretación de los resultados..... .Pág.39



**CAPITULO III. VALORACION GEOTECNICA DE LOS SUELOS DEL SECTOR PLAYA LA VACA PARA LA CONSTRUCCION..... Pág.40**

Introducción.....Pág.40

3.1 Resultado de los métodos de prospección geofísica aplicados.  
    Goelectricidad. Tomografías Eléctricas.....Pág.41

3.2 Valoración Ingeniero geológica de los suelos del sector Playa la vaca para su uso en la construcción.....Pág.45

3.3 Estimación de los asentamientos.....Pág.54

3.4 Características hidrogeológicas del área.....Pág.55

**Conclusiones.....Pág.59**

**Recomendaciones.....Pág.61**

**Bibliografías.....Pág.62**



# RESUMEN

---

El estudio de las precipitaciones y su distribución espacio-temporal constituye una de las líneas de investigación en los estudios del ciclo hidrológico y de impacto ambiental. Su importancia está marcada por el hecho de que son las lluvias la principal fuente de alimentación de las aguas superficiales y subterráneas; y su distribución espacio-temporal es esencial para explicar hasta que punto ejerce influencia en las propiedades físico mecánicas de los suelos. Por tal motivo surge la presente investigación que tiene como objetivo valorar el comportamiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos del sector Playa la vaca, que permite establecer criterios sobre su uso como base de las futuras construcciones a desarrollar en el área de estudio.



# ABSTRACT

---

The distribution and precipitation studies constitute one the investigation methods in the cycle of hydrologic studies and environmental impacts. Its importance is marked in the fact that the rain is the main importance source of superficial and underground water, and its temporal-partial distribution is essential to explain until the point that gives influence to mechanical –physical properties of soils. For that motive came the present investigation that have a objective to value the physical and mechanical properties of soils at the sector of Playa La Vaca, that will establish criteria about their future use as base of constructions to take place in the study area.

---



# INTRODUCCIÓN

---

Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes, que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas: Física, Química y Biológica. Todo ello da lugar a fenómenos de disgregación y transformación de la roca creándose el **perfil de meteorización**. Cuando el suelo permanece in situ sin ser transportado se le conoce como **suelo residual**, y cuando ha sufrido transporte se denomina suelo **transportado** (González de Vallejo, 2002).

Los yacimientos ferroniquelíferos cubanos son genéticamente de tipo residual, formados por una corteza de intemperismo en forma de manto que descansa sobre la roca madre. Estas se encuentran desarrolladas sobre una cadena montañosa compuesta por rocas ultrabásicas serpentinizadas, en menor grado por rocas básicas y efusivas. (Almaguer Y, 2005)

La explotación de estos yacimientos ferroniquelíferos trajo consigo el desarrollo de una amplia infraestructura social y económica en Moa, donde las investigaciones geotécnicas han jugado un rol importante en este aspecto, ya que tanto la construcción de obras ingenieriles como la estabilidad de las mismas dependen de la correcta caracterización y clasificación de los suelos, por ser estos la base de las cimentaciones de cualquier obra que se realice en la región.

Un problema latente desde los inicios de la minería en la región de estudio, lo constituye la alta humedad natural del mineral en el proceso industrial de tipo carbonato amoniacal, dado por las condiciones climáticas (abundantes lluvias) e ingenieriles (suelos con alto contenido de humedad), aspecto que influye negativamente en las condiciones ambientales de los yacimientos, en el gasto energético que se incurre al secar el mineral que entra al proceso industrial y para los estudios de riesgos por inundaciones que se realizan en la región.

En el análisis de esta característica, se inicia con la valoración de la influencia de la pluviometría en el comportamiento espacial de la humedad natural y la saturación de estos suelos. De manera que los resultados de esta investigación profundizan en el conocimiento de esta problemática del sector Playa la Vaca del municipio Moa con vistas a la construcción de obras ingenieriles que se desarrollaran en la región.



Por ello surge la presente investigación titulada “Valoración ingeniero geológica de los suelos del sector Playa la vaca para futuros trabajos constructivos”, a partir del siguiente problema:

**Problema.**

La necesidad de valorar ingeniero geológicamente los suelos del sector Playa la Vaca, a partir de las propiedades físico mecánicas de los mismos, que permite establecer criterios sobre su comportamiento y utilización en futuros trabajos constructivos.

**Objeto de estudio.**

Las propiedades físico mecánicas de los suelos presentes en el sector Playa la Vaca ubicado al NNW del poblado de Moa.

**Objetivo general.**

Valorar desde el punto de vista ingeniero geológico los suelos del sector Playa la vaca, a partir de sus propiedades físico mecánicas, para su utilización en futuros trabajos constructivos.

**Objetivos específicos.**

- Análisis de las propiedades físico mecánicas de los suelos del área de estudio.
- Valorar el comportamiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos del sector Playa la vaca para establecer criterios sobre su utilización en futuros trabajos constructivos.

**Hipótesis**

A partir del análisis de las propiedades físico mecánicas de los suelos en el sector playa la vaca; entonces es posible valorar el comportamiento de los mismos y su utilización en futuros trabajos constructivos.

**Aportes científicos.**

- Análisis de las propiedades físico mecánicas de los suelos del área de estudio.
- Valoración del comportamiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos del sector Playa la vaca para establecer criterios sobre su utilización en futuros trabajos constructivos.



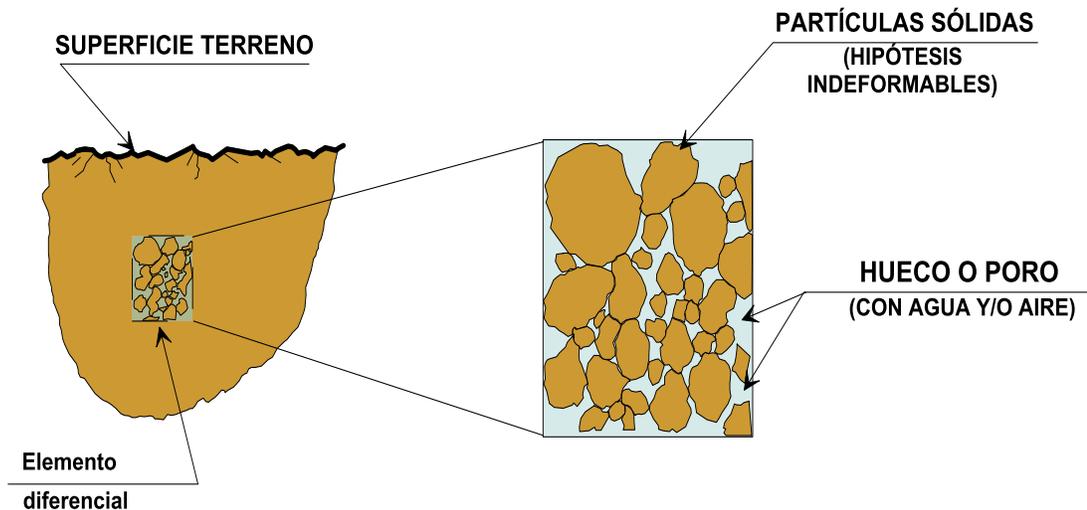
## MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente siglo XXI, los problemas del desarrollo sostenible, en un frágil equilibrio medioambiental sometido a la inevitable confrontación entre las consecuencias del progreso y los procesos geológicos junto a la construcción de diversas obras ingenieriles en condiciones geológicamente adversas, constituyen prioridades de la ingeniería geológica. La necesidad de estudiar geológicamente el terreno como base de partida para los proyectos constructivos de grandes obras es indiscutible en la actualidad, y constituye una práctica obligatoria para esta ciencia. Establecida la relación entre los factores geológicos y los problemas geotécnicos, interpretando la geología desde la ingeniería geológica se puede determinar y predecir el comportamiento del suelo. (González de Vallejo, 2002)

No es un secreto que la acción del hombre al realizar trabajos constructivos, en un entorno geográfico concreto como el que nos ocupa, altera las condiciones del medio natural al provocar variaciones en la constitución y propiedades físico-mecánicas del suelo, por ser estas las que permiten clasificar y zonificar adecuadamente los suelos a partir de definir las características iniciales del terreno. Una de las propiedades físicas que identifica la consistencia inicial del suelo lo constituye la definición del contenido de humedad natural ( $w$ ) expresada en por ciento (%) que no es más que la relación entre el peso del agua que contiene la muestra y el peso de sus sólidos. (González de Vallejo, 2002).

### Suelos

Desde diferentes ciencias se abordan definiciones de Suelos; para la presente investigación el concepto que se utiliza es dado por la Ingeniería Geológica, que define **el suelo**, como un agregado de minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación en agua. Como se observa en la figura 1, el suelo está constituido por la fase sólida, líquida y gaseosa. (González de Vallejo, 2002).



**Figura 1.** Constitución del suelo. (Modificado de González de Vallejo. 2002)

Precisamente, para estudiar un material tan complejo como el suelo (con diferentes tamaños de partículas y composición química) es necesario seguir una metodología con definiciones y sistema de evaluación de propiedades. Así se han clasificado los suelos en cuatro grandes grupos en función de la granulometría: (ASTM, 1993)

- **Gravas**, con tamaño de grano entre unos 8-10 cm y 2 mm, los granos se observan directamente. No retienen el agua por la inactividad de la superficie y los grandes huecos existentes entre partículas.
- **Arenas**, con partículas comprendidas entre 2 y 0.060mm, todavía son observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan de ella con facilidad.
- **Limos**, con partículas comprendidas entre 0.060mm y 0.002mm. Retienen el agua mejor que los tamaños superiores. Si se forma una pasta agua-limo y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se observa como el agua se exhuda con facilidad.
- **Arcillas**, formadas por partículas con tamaños inferiores a los limos (0.002mm). Se trata de partículas tamaño gel y se necesita que existan transformaciones químicas. La capacidad de retención del agua sea muy grande.

La existencia en el área de estudio de un macizo rocoso de composición ultrabásica, un clima cálido y húmedo, un relieve que permite que el escurrimiento superficial favorezca la erosión y transporte de los productos de meteorización y la presencia de un sistema de



grietas y fisuras de diversos orígenes propician el desarrollo de horizontes lateríticos, utilizados como base natural de las construcciones.

La figura 2 representa un perfil laterítico generalizado de la región de Moa en el cual se distinguen 4 zonas que se caracterizan a continuación de arriba hacia abajo (Brand N., Butt C, Elias M. (1998):

1 - *Ferricretas*: presenta un color marrón oscuro, con tonalidades negras. En la parte superficial se observan partículas de forma esférica de hidróxidos de Fe, frecuentemente cementadas entre sí por material ferruginoso, de composición similar al que forman los propios hidróxidos, estos procesos de cementación dan lugar al crecimiento de capas de hidróxidos de hierro de variadas dimensiones, que pueden tener varias toneladas de peso. El proceso de cementación de los hidróxidos de hierro es el resultado de los procesos a los que está expuesto el corte laterítico en condiciones naturales, debido a las variaciones climáticas anuales. La potencia es variable entre 0.2-15 m. Granulométricamente predomina la fracción areno gravosa.

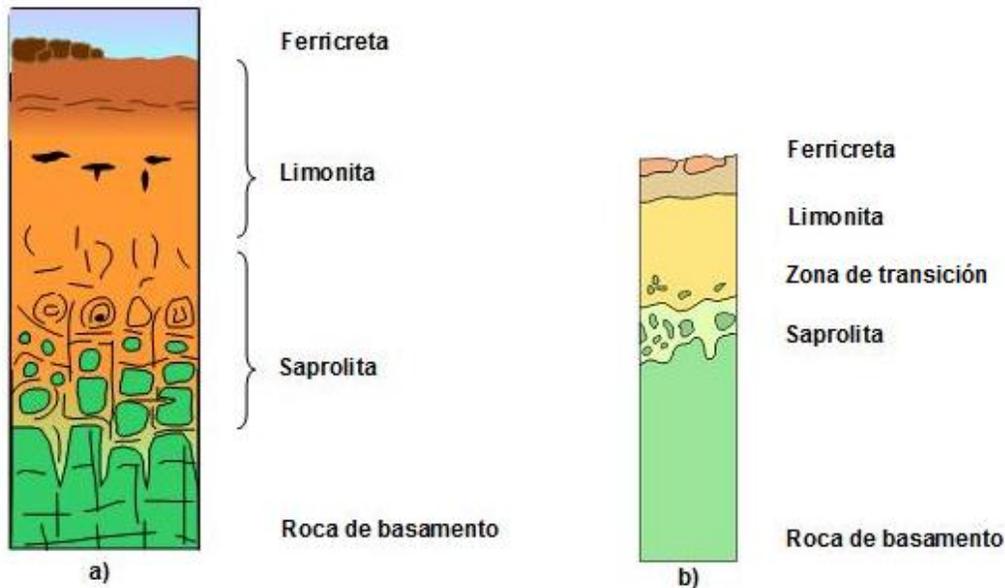
2- *Zona limonítica*: se caracteriza por un color ocre o marrón oscuro. Su potencia es variable 2-6 m. Presenta una humedad mayor que la zona superior. La granulometría es limo-arcillosa, predominando la fracción limo.

3- *Zona de transición*: constituye la zona de transición entre la zona limonítica y la saprolítica. La coloración del corte es pardo-amarilla. Su granulometría es limo-arcillosa, con predominio de la fracción limo. En su interior se pueden encontrar bloques de la zona saprolítica. Esta zona se corresponde con la zona de variación del nivel freático del agua durante las diferentes estaciones del año (ciclos de secado y humedecimiento), aspecto que favorece la hidratación, disolución, transporte y precipitación de los diferentes elementos o compuestos químicos, así como el desarrollo de los procesos de oxidación de los minerales por la entrada de los diferentes gases atmosféricos (principalmente oxígeno) al bajar el nivel freático.

4- *Zona saprolítica*: la coloración verde-amarilla varía en relación con su grado de alteración. Esta zona presenta mayor irregularidad en cuanto a su extensión y potencia. Normalmente el material se encuentra en estado saturado. La granulometría es de tipo



limo-arcilloso, predomina la fracción limo en más del 50% de su peso. Está compuesta por peridotitas y harzburgitas serpentinizadas muy meteorizadas.



**Figura 2.a)** Perfil laterítico desarrollado sobre roca ultramáfica en una zona tropical, **b)** Perfil laterítico generalizado de tipo oxido de la región de Moa. (Modificado Brand N.W., Butt C.R.M., Elias M. (1998))

### Estudios realizados en el área de los trabajos

El área de los trabajos desde el punto de vista de su utilización con fines constructivos se encuentra poco estudiada:

Levantamiento geológico de la Brigada Cubano-Húngara (1971-1976), cuyos resultados se publicaron en el libro Contribución a la Geología de Cuba Oriental, estudio regional que aporta información general sobre las Formaciones Geológicas presentes en el área de estudio, así como las diferentes litologías que las componen.

Mapa Geológico de las Provincias Orientales a escala 1: 100 000 2001, , del Instituto de Geología y Paleontología del Ministerio de la Industria Básica.

Pica, M 2008, realiza un estudio de viabilidad geologica para la construcción de un Parque Eólico en un área del sector Playa la Vaca, donde ofrece variantes optimas para la construccion del mismo pero no ofrece elementos sobre el comportamiento del suelo para la construccion.



ISMM

Investigación Ingeniero Geológica del vial de acceso a la Central Eléctrica de Moa. ENIA, 2010. Estudio realizado por el Ing. José Raúl Madrigal en un área aledaña a la de interés.

Chi Oliveros 2011, realiza un estudio sobre el comportamiento de la humedad natural de los suelos del sector y su influencia en los procesos de inundaciones, todo con vistas a los estudios de riesgos a realizarse en la región.



# CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.

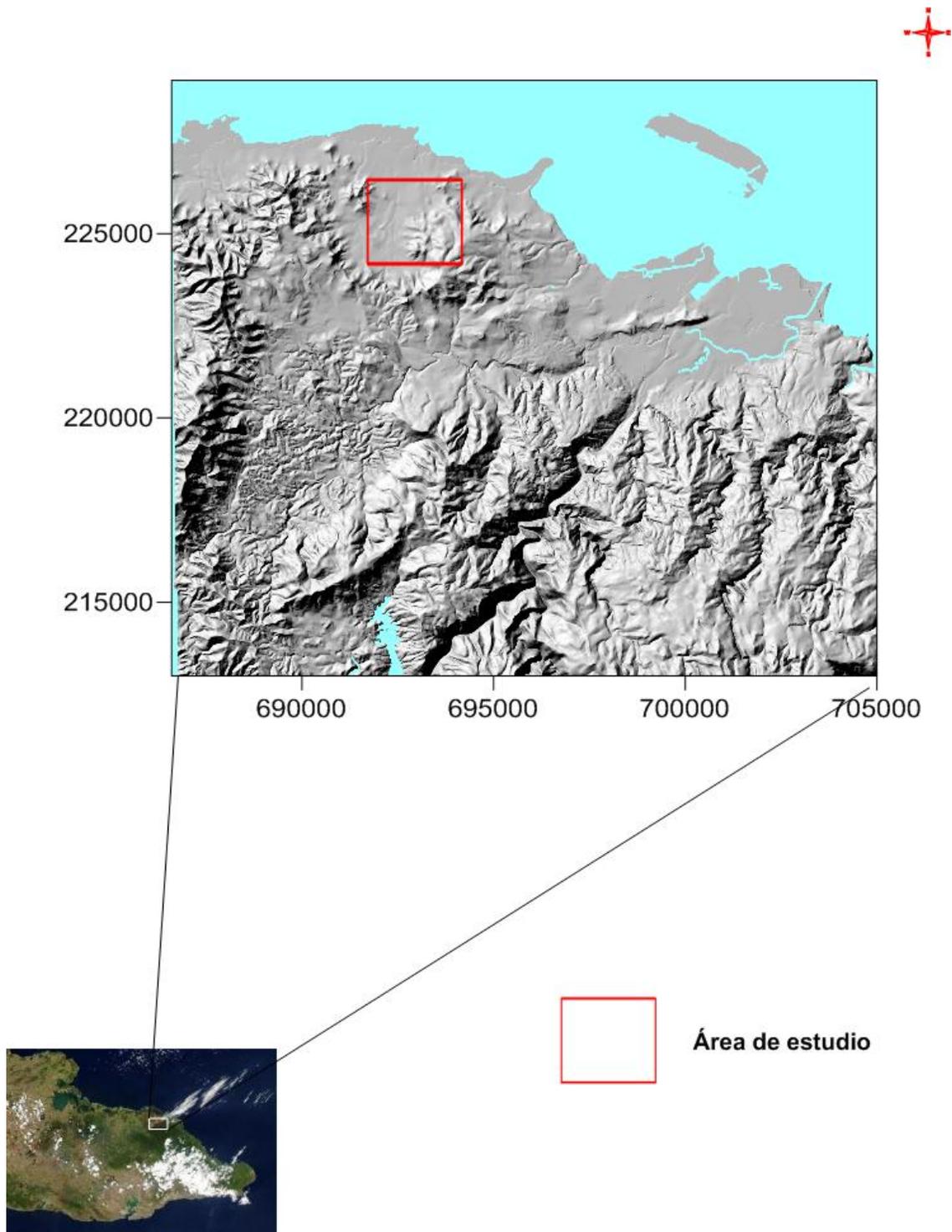
- Generalidades.
  - Características Geológicas.
  - Geología del área de estudio.
  - Características Tectónicas del sector de estudio.
  - Características Hidrogeológicas.
  - Procesos Geodinámicos y Antrópicos.
- 

## 1.1 Generalidades.

El municipio de Moa tiene una extensión territorial de 732.6 kilómetros cuadrados. Se encuentra ubicado en la provincia Holguín, al noroeste de Cuba oriental. Limita al Este con el municipio Baracoa, separados por los ríos Jiguaní y Jaguaní; por el Sur limita con el municipio Guantanamero de Yateras; por el Oeste con los municipios de Frank País y Sagua de Tánamo y por el Norte con el estrecho de Bahamas en el Océano Atlántico. Próximos a sus costas se encuentran los cayos Moa Chico y Moa Grande situados frente a la Ciudad de Moa y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey.

El Sector Playa la Vaca está ubicado al Norte del poblado de Centeno y al Oeste de la Ciudad de Moa; extendiéndose de Norte a Sur desde el límite de la costa y todo el litoral costero hasta la carretera que une los municipios Sagua de Tánamo y Moa, abarcando un área aproximada de 0.20 Km<sup>2</sup>, el área de estudio se encuentra localizada en el sector y está limitada por las Coordenadas Lambert:

Punto	Este (X)	Norte (Y)	Hoja Cartográfica 5278-III-c Cayo Moa Grande
1	693 906	226 560	
2	694 175	226 423	
3	694 175	225 962	
4	693 978	225 962	
5	693 679	226 115	



**Figura 3.** Mapa de ubicación geográfica del área de estudio (Escala original 1: 25 000).

Orográficamente el territorio se caracteriza por una alta complejidad, predominando el relieve de montaña, hacia la parte este, con cota máxima de 1139 m sobre el nivel del mar



(El Toldo) y ondulado hacia el norte, zona correspondiente a la región costera. Se clasifica en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanuras y la zona de relieve de montañas (Rodríguez, 1998), con subtipos específicos.

### **Zona de Llanuras**

Se desarrolla en toda la parte norte de la región ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110 m de altura hacia el sur. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos.

La zona de llanura fue clasificada en tres subtipos:

- Llanuras acumulativas marinas.
- Llanuras fluviales clasificadas en acumulativas y erosivo-acumulativas
- Llanuras acumulativas palustres parálidas.

### **Zona de Montañas**

Esta zona geomorfológica es la más extendida dentro de la región ocupando toda la parte sur y central, además del Cerro de Miraflores y las zonas nordeste y noroeste del poblado de Cananova.

Teniendo en cuenta esos parámetros la zona de relieve de montaña fue clasificada en cuatro subtipos:

- Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas.
- Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Zona de montañas bajas diseccionadas.

Conjuntamente con estas zonas, aparecen en la región formas menores del relieve o elementos del paisaje, algunas originadas por acciones antrópicas; que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional.

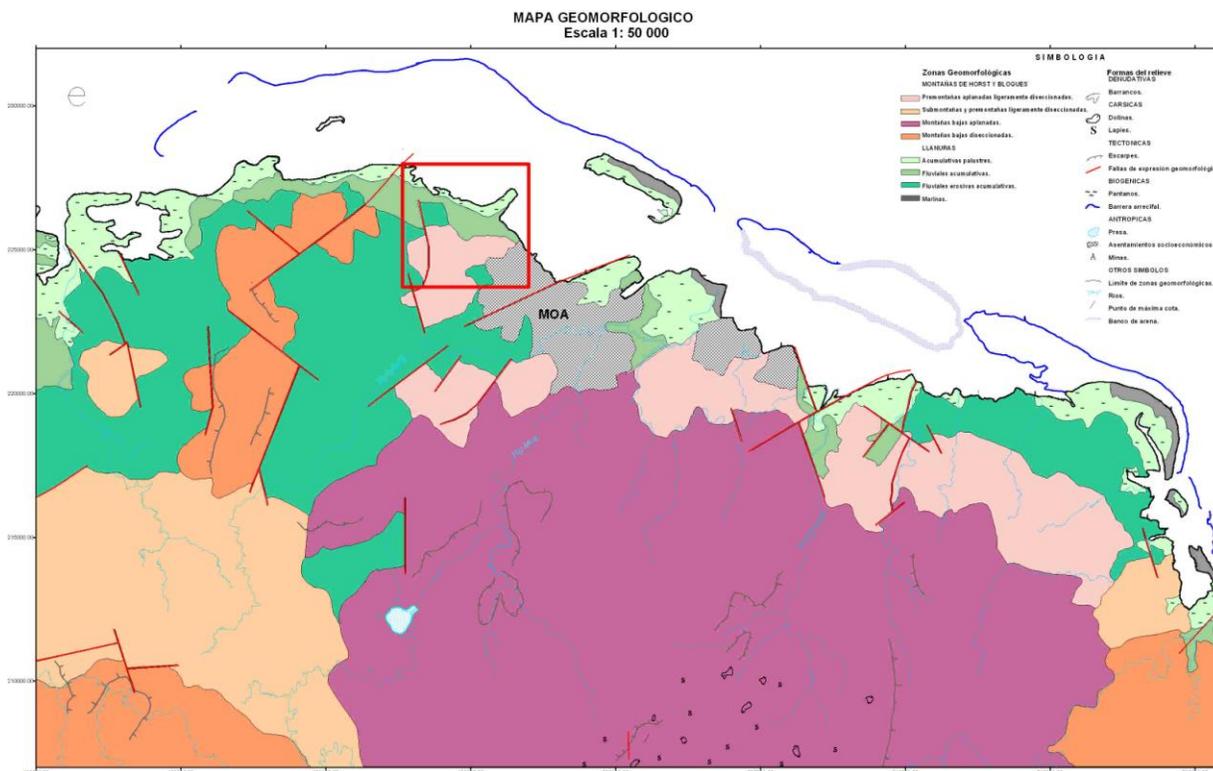
Como se observa en la figura 4, el relieve predominante en el área de estudio es de llanuras. La misma presenta un relieve ligeramente ondulado de tipo erosivo denudativo,



con cotas absolutas que varían desde 8.0 hasta 19.0 m.s.m, desarrollado sobre las rocas de la Asociación Ofiolítica del Mesozoico, en este caso sobre serpentinitas y peridotitas serpentinizadas. Hacia la parte central del área y hacia Sureste, las variaciones del terreno presentan por lo general pendientes suaves, inferiores a 5%, equivalente a 2.9 grados, aumentando hacia el Noreste y Oeste hasta alcanzar mas de 11 % equivalente a 6 grados, en correspondencia con el comportamiento del relieve, de tal forma que los puntos de máximas pendientes coinciden con las máximas cotas absolutas.

La red hidrográfica de la zona está conformada por algunos arroyos que corren con una dirección predominantemente de Sur a Norte (hacia el mar), que no cruzan el área de investigación. En la misma, el escurrimiento superficial y subterráneo está condicionado por la existencia de pequeñas vaguadas originadas por las mismas oscilaciones del terreno hacia las partes más bajas.

Las actividades del hombre en la zona han sido bastante limitadas, por lo que se han originado muy pocas formas antropogénicas del relieve, relacionadas solamente con el camino de Moa a Playa la Vaca.



**Figura 4.** Mapa geomorfológico Escala original 1: 50 000 (Modificado de Rodríguez A. 1998)



El municipio Moa presenta características climáticas muy propias, debido a su ubicación geográfica, relieve y dirección e intensidad predominante de los vientos. Estas se distinguen con claridad por las condiciones pluviométricas exclusivas del lugar, e incluso dentro del mismo territorio donde existen variaciones en los acumulados de precipitaciones debido a la diferencia de altitudes y la existencia de zonas a barlovento y sotavento. El clima de la zona es subtropical húmedo, distinguiéndose de acuerdo a la distribución de las precipitaciones períodos secos y húmedos. La temperatura media anual oscila entre 22.26 – 30.5 °C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los más fríos enero y febrero.

La principal cantidad de precipitaciones cae en forma de lluvias torrenciales, predominantemente originadas por tormentas y por efecto convectivo, estas últimas ocurren debido a la elevación del aire húmedo proveniente del mar sobre el macizo montañoso Cuchillas de Moa.

En el período comprendido entre los meses de diciembre a abril caen lluvias provocadas por la llegada de frentes fríos del norte. Los mismos pueden durar de dos a tres días, caracterizándose por tener poca intensidad y cantidad de lluvias.

El total de precipitaciones anuales es entre 767 - 3560 mm, siendo los meses más lluviosos octubre, noviembre y diciembre y los meses más secos abril, julio y agosto; la evaporación media anual varía entre los 1880 y 7134 mm.

La acción de los Alisios que predominan del nordeste en invierno y del este en el verano y las características orográficas del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa produce una serie de brisas locales de considerable magnitud que son capaces de modificar o perturbar el curso normal de los Alisios (Montesinos A 2007). Los vientos locales más importantes son las brisas marinas que durante el día refuerza a los alisios en la vertiente norte y el Terral que durante la noche los debilita. También se manifiestan con las brisas de valles durante el día y las brisas de montaña que en el horario nocturno descienden hacia las partes bajas. Otro aspecto del viento que tiene gran incidencia en el comportamiento de las precipitaciones, es la confluencia o convergencia obligada a la que se someten las corrientes de aire en el interior de la cuenca debido a su forma y orientación.

Las velocidades mínimas del viento se registran en los meses del período húmedo, principalmente en junio, septiembre y octubre. Los valores de velocidad media mensual y anual del viento (Tabla I) fueron tomados de la estación meteorológica “El Sitio”, con



ISMM

coordenadas **N**= 216 600 **E**= 671 600 perteneciente a la red del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (I.N.R.H).

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Velocidad (m/s)	7,8	9,4	11,2	11,6	9,4	7,6	11,4	9,6	7,2	6,4	7,9	7,9	9,0

**Tabla 1** Valores de velocidad media mensual y anual del viento (m/s).

Como se puede observar el valor máximo de velocidad del viento es 11,6 m/s (41,76 km/h), siendo inferiores a los vientos que clasifican dentro de la categoría de Depresión Tropical (62,0 km/h) que es la mínima, por lo que la acción de fuertes vientos (no asociados a organismos ciclónicos) sobre el área de estudio se evalúa como peligro de categoría baja.

## 1.2 Características Geológicas.

El Bloque Oriental Cubano presenta características geológicas muy particulares dentro del marco de la estructura geológica cubana. De ahí el gran interés que ha despertado en diversos investigadores (Adamovich y Chejovich, 1964; Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Blanco y Proenza, 1993; Iturralde-Vinent, 1996), llevando a cabo estudios encaminados a profundizar en la estructura geológica cubana en general.

Según Iturralde-Vinent, (1996) en la constitución geológica del archipiélago cubano se reconocen dos elementos estructurales principales: el cinturón plegado y el neoaútóctono.

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

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



constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

### 1.3 Geología del área de estudio

En el sector afloran litologías pertenecientes al cinturón plegado cubano (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Proenza, 1997; Proenza et al., 1999) específicamente a las ofiolitas septentrionales.

A continuación se describen los rasgos más importantes de las litologías existentes:

#### *Ofiolitas septentrionales*

Las rocas típicas de la secuencia ofiolítica están ampliamente representadas en el área de estudio presentando un desarrollo considerable de los complejos ultramáficos y de gabros (Proenza, 1997; Proenza et al., 1999). Según Fonseca et al. (1985) el espesor aproximado del complejo ultramáfico es de 1000 m y el de gabros de 500 m. Quintas (1989) estima un espesor de 1200 metros para el complejo volcano-sedimentario.

El complejo ultramáfico ocupa la mayor porción del área de investigada, ubicadas al este, sur y sur-oeste., donde predomina como roca del basamento la peridotita serpentizada en mayor o menor grado. De acuerdo a estudios anteriores y a las observaciones de campo, las peridotitas presentes son harzburgitas de color azul verdoso oscuro, con contenido variable de piroxenos rómbicos y olivino. En menor grado aparecen piroxenos monoclinicos. Tanto los piroxenos como el olivino han sido transformados a minerales del grupo de la serpentina, siendo ocasional la presencia de relictos de los minerales primarios (Almaguer et al, 2005).

Como se observa en la figura 5, se encuentran las serpentinas pertenecientes a la asociación ofiolítica, que limitan al noroeste con los gabros, con poca aflorabilidad en el área de estudio, hacia el Noreste con edad Cuaternario (Holoceno) aparecen los sedimentos fluviales representados por cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial.

Hacia el Norte son cubiertas por depósitos palustres de edad Cuaternario (Holoceno), asociados al borde costero y representado por sedimentos no consolidados, friables y



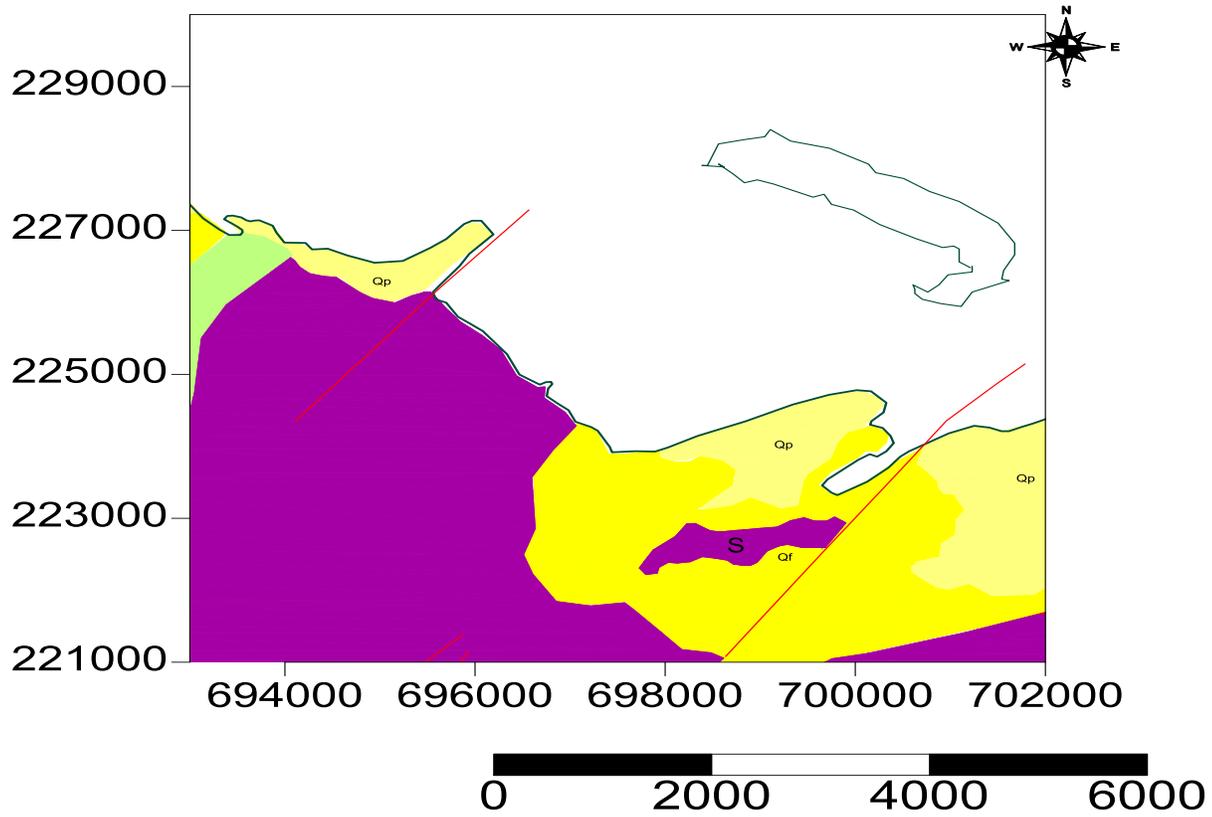
ISMM

fragmentarios como aleurolitas calcáreas y organodetríticas, arena margosa y arcillosa a veces con gravas pequeñas de color castaño grisáceo. En las partes lagunares se observan capas y lentes de turba.

La intensa meteorización de las rocas presentes bajo condiciones de altas temperaturas y humedad ha dado origen a una corteza de intemperismo del tipo laterítica muy rica en óxidos de Hierro y Aluminio y con espesores variables, compuesta por suelos eluviales y deluviales generalmente de granulometría fina. Sobre las serpentinitas y peridotitas de base aparecen los sedimentos de la corteza de intemperismo o cobertura, formados por suelos lateríticos finos y gruesos con densidades y consistencias variables compuestos por arcillas, arcillas limosas, arcillas limo arenosas, arenas arcillosas, gravas areno arcillosas entre otros. En algunas partes del área, las rocas aparecen cubiertas por sedimentos de origen fluvio marino, específicamente en puntos bajos del relieve, susceptibles a inundarse en tiempo de lluvia.



ISMM



### LEYENDA

#### Formaciones

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
|  | Sedimentos fluviales del Cuaternario. |
|  | Sedimentos parálicos del Cuaternario. |
|  | Serpentinas                           |
|  | Gabros                                |

#### Fallas

- |  |                |
|--|----------------|
|  | Fallas seguras |
|--|----------------|

**Figura 5.** Mapa geológico del área (Escala original 1: 50000) (Modificado de Rodríguez 1998)



#### **1.4 Características Tectónicas del sector de estudio.**

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

Campos, (1983). Plantea que este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas. Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste (Figura 6), que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Campos, 1983; Rodríguez, 1998a, 1998b). También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983).

Rodríguez, (1998b) plantea que desde el punto de vista tectónico la región de Moa en general y el área de estudio en particular es muy compleja, Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión. También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos.

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido cuatro sistemas de fallas que cortan a las rocas de la asociación ofiolítica y que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica, pero el segundo sistema cronológico es el que se desarrolla en el sector Playa la Vaca, constituido por las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes y son a su vez los límites principales de los bloques morfotectónicos,



haciéndose sumamente importante la caracterización del mismo desde el punto de vista geodinámico contemporáneo. Este sistema está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte-noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre los sesenta y ochenta grados.

A este sistema y que afectan el área de estudio pertenecen

**Falla Miraflores:** Se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E. Su límite meridional al parecer lo constituye la falla Moa al sur del área de trabajo.

Es precisamente la falla Miraflores quien permite diferenciar para el sector de estudio los bloques morfotectónicos en los que se encuentra enmarcado.

**Falla Cananova:** presenta un rumbo NW – SE. cartografiada a escala 1: 25 000 desde la Bahía de Yaguaneque hasta el poblado de Jucaral, presentando un rumbo predominante N 53° W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta. Según el análisis de los métodos aplicados se pudo determinar que a través de la falla Cananova ocurre un desplazamiento horizontal máximo de 1500 m hacia el noroeste del bloque norte respecto al sur y un movimiento rotacional izquierdo - antihorario - calculado en un valor medio de cuarenta grados de ese bloque norte. Hacia el sudeste los criterios de falla en superficie se pierden bruscamente al penetrar esta la meseta serpentinitica de potentes espesores de corteza que constituye el yacimiento Moa.

**Falla cabañas:** Se extiende desde el extremo centro occidental del área al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande. En su parte meridional presenta una orientación de N70°E hasta la zona de Zambumbia, donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales aflorando nuevamente con nitidez al noreste del poblado de Conrado, donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova, tomando una orientación N56°E la cual se mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.



ISMM

Rodríguez, (1998b) plantea que desde el punto de vista tectónico la región de Moa en general y el área de estudio en particular es muy compleja, perteneciendo a los sub-bloques morfotectónicos “norte” que pertenece al Bloque “Miraflores”, y al sub-bloque “Norte” perteneciente al Bloque Cabañas, (ver Figura 6).

### ***Bloque Miraflores. Sub bloque Norte***

Se encuentra ubicado en la parte noroccidental del área teniendo como núcleo el Cerro de Miraflores y las laderas occidentales, norte y nororientales del mismo. Está conformado litológicamente en superficie por las rocas del basamento del arco insular cretácico y de la antigua corteza oceánica - secuencia ofiolítica y al norte por los sedimentos parálicos y fluviales del Cuaternario.

Geomorfológicamente el bloque se caracteriza por presentar llanuras fluviales acumulativas así como llanuras palustres en la parte correspondiente al litoral.

Este bloque se caracteriza por sufrir movimientos pulsantes, con tendencia general de desplazamiento norte-noreste con un mayor levantamiento de su parte oriental, lo que justifica las pendientes más abruptas y las mayores elevaciones hacia este sector; y más suaves hacia el sector occidental por degradación y compensación, y que a su vez, se encuentra dividido en dos sub-bloques que mantienen esa tendencia general de los movimientos horizontales y verticales pero que además, se mueven entre sí con un movimiento rotacional izquierdo - antihorario - del sub-bloque norte respecto al sur.

### ***Bloque Cabaña. Sub-bloque Norte***

Situado al este del bloque Miraflores, con orientación noreste desde la localidad de Zambumbia hasta Cayo Moa Grande, y en su porción meridional, en la zona Cayo Grande-Caimanes Abajo, mantiene una dirección noroeste.

Geológicamente el basamento sobre la cual se sustenta la morfología de este bloque está conformado por las rocas del complejo ofiolítico y sedimentos parálicos y fluviales en la zona aledaña al litoral. El relieve es de llanuras erosivas y erosivo-acumulativas las que hacia el sur transicionan a submontañas ligeramente disecionadas con divisorias de configuración arborescente. El drenaje es de densidad moderada a alta. Los valores morfométricos que para este bloque se comportan con gran variabilidad evidencian una intensidad mínima de levantamiento relativo respecto a los bloques laterales con una



ISMM

disección vertical máxima de  $100 \text{ m/km}^2$  en la parte centro - septentrional, disminuyendo hasta  $90 \text{ m/km}^2$  hacia el norte y  $40 \text{ m/km}^2$  hacia el sur. Para el bloque los valores máximos del nivel de base de erosión para el segundo y tercer orden se alcanzan hacia el sur con 200 m y 150 m respectivamente, formándose cierres de isobasas de carácter muy local hacia el norte, en la zona de Playa la Vaca.

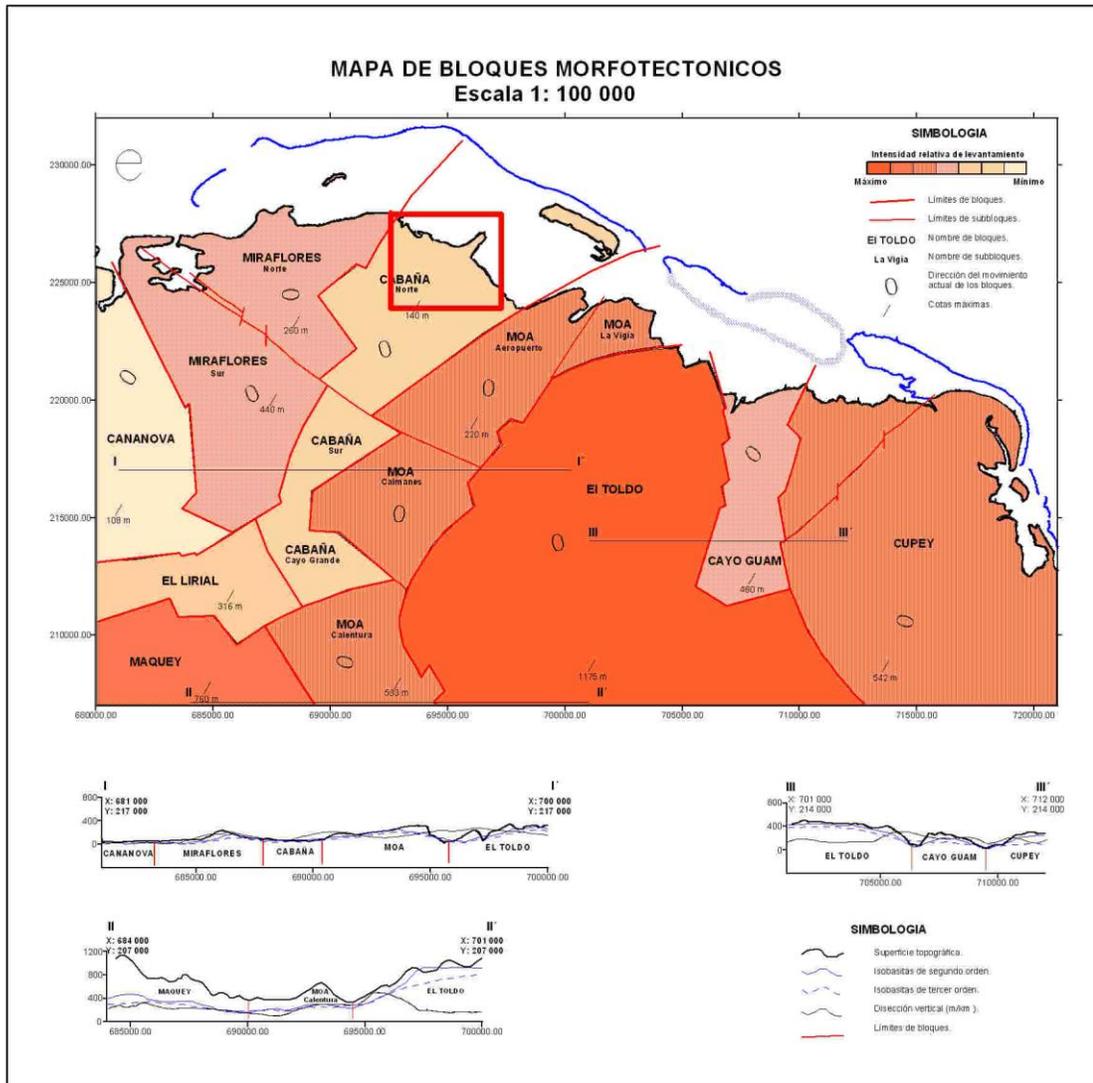
Al igual que el bloque Miraflores, este bloque se encuentra cortado por la falla Cananova presentando valores morfométricos diferenciados entre el sub-bloque norte y sur, desplazándose el sub-bloque norte según el plano de fractura en dirección noroccidental.

La actividad tectónica ha traído como consecuencia el intenso agrietamiento y fracturación del macizo rocoso evidenciado en los testigos recuperados en la perforación, donde fueron observadas abundantes discontinuidades, consistentes en fracturas, grietas y venillas con inclinación variable.

Se observó que la inclinación predominante es la vertical e inclinada hasta 45 grados, aunque también aparecen en abundancia discontinuidades horizontales y subhorizontales separadas escasos cm.

Las fracturas en su mayoría presentan superficies planas y pulidas y planas y rugosas, casi siempre cubiertas por un espesor de relleno de 2-3 mm preferentemente compuesto por magnesita y minerales del grupo de la serpentinita. Las grietas por lo general aparecen selladas por el mismo tipo de relleno y se presentan con diferentes espesores, abundando las de 1-2 cm y venillas de 1-2 mm.

La presencia de estas discontinuidades ha favorecido la intensidad de los procesos de meteorización y ha provocado que la calidad del macizo rocoso clasifique como mala, según los índices de calidad determinados como el RQD y RMR



**Figura 6.** Mapa de Bloques Morfotectónicos del área (Escala original 1: 100 000).  
(Modificado de Rodríguez A. 1998)

### 1.5 Características Hidrogeológicas.

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, se identifica como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. Se ha establecido para la región, la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes, así como, de su capacidad para el



almacenamiento en mayor o menor grado de aguas subterráneas (Sidimohamed Jatri, 2002; Pérez, 1999), de los cuales de mayor importancia para el presente estudio son:

- Complejo acuífero de las ofiolitas.

Se extiende en dirección noroeste-sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 - 12 metros. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 - 4 l/s. según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin las aguas son de tipo bicarbonatadas - magnésicas.

- Complejo acuífero de los sedimentos costeros.

Se extiende por casi todo el norte de la región, formando una franja estrecha que presenta dimensiones de 1 - 2 Km. de ancho. El relieve costero está caracterizado por cotas de 0 - 2m sobre el nivel del mar; su edad se corresponde con el Cuaternario. Su composición litológica integrada por depósitos arcillosos contiene fragmentos angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas se asocian a calizas organógenas, en menor escala sedimentos no consolidados, así como, depósitos arcillo - arenosos con fragmentos angulosos de composición variada. Predominan aguas cársicas y de grietas, y en algunos casos intersticiales. Por lo general tienen interrelación hidráulica con el agua de mar.

A una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m yace el nivel freático. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores hasta los 268.4 m/día, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 l/seg, con un gasto específico (q) de 93.4 l/seg. En las calizas, según Kurlov el agua se clasifica como clorurada – bicarbonatada – sódica.

- Complejo acuífero de las lateritas.

Se extiende por casi toda la zona ocupando gran parte del área. Su composición litológica se corresponde con potentes cortezas de intemperismo, representando a un acuitardo, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas que alcanzan los 30 m de potencia, con un marcado desarrollo de procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar alrededor de 20 m. Las precipitaciones atmosféricas son la fuente principal de alimentación de este acuífero. Por su composición química son aguas bicarbonatadas – magnésicas y sódicas de baja



mineralización. Las características hidrogeológicas del área de estudio serán objeto de análisis en el capítulo III.

### **1.6 Procesos Geodinámicos y Antrópicos.**

Los fenómenos físico-geológicos presentes en el área estudiada son:

**Meteorización:** Es el fenómeno físico-geológico más importante en el área de estudio. Está vinculado con la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas ultrabásicas y básicas. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio. ha dado lugar a una corteza de intemperismo compuesta por suelos lateríticos muy ricos en óxidos de Hierro y Aluminio, con espesores variables.

**Erosión:** se debe a la acción de corrientes temporales, dando lugar a la formación de surcos y grandes cárcavas en los suelos, ocasionadas por el escurrimiento de las precipitaciones atmosféricas.

**Empantanamiento:** Se manifiesta en zonas cercanas al área estudiada, en partes bajas del relieve donde el drenaje es deficiente y los suelos presentan baja permeabilidad. Ha dado lugar a la acumulación de sedimentos de origen fluvial y pantanosos.

#### **Sismicidad.**

Aunque no existen reportes históricos de la ocurrencia de un terremoto fuerte con epicentro en Moa, no se niega la posibilidad de su ocurrencia en épocas anteriores, ya que esto puede deberse a la ausencia de una infraestructura socioeconómica y cultural que permitiera el archivo de estos datos.

Posterior a las series de terremotos de los años 1998 - 1999 continúa la actividad sísmica de manera significativa al NE de la provincia Holguín. Los datos estadísticos de los sismos ocurridos en la zona de monitoreo Moa – Purial desde el año 2000 hasta el año 2007 reflejan que esta se mantiene activa, destacándose significativamente el año 2007 donde han ocurrido mayor cantidad de terremotos en esta región en los últimos ocho años, aunque los mismos fueron de baja energía.

Por la posición geólogo-estructural que tiene el municipio de Moa, se ubica dentro del contexto sismotectónico de Cuba Oriental (CENAI, 1982), bordeado por tres zonas

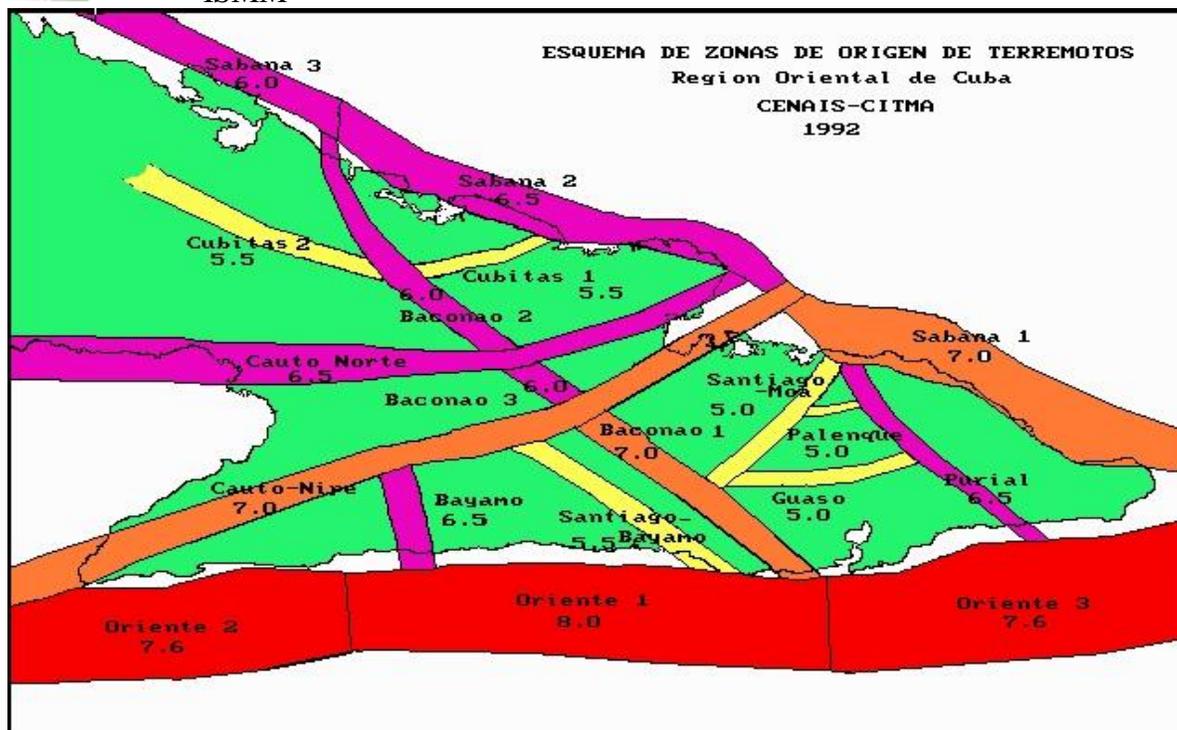


ISMM

sismogeneradoras coincidentes con fallas profundas que constituyen límites entre o interplacas, (ver Figura 7).

Estas tres zonas son:

- Zona sismogeneradora Oriente: Está asociada a la falla transcurrente Bartlett-Caimán de dirección este-oeste. Constituye el límite entre la placa Norteamericana y Caribeña. A esta zona corresponde la más alta sismicidad de toda Cuba y con ella se encuentran asociados los terremotos de mayor intensidad con epicentros en el archipiélago cubano. La intensidad máxima pronóstico promedio para la zona es de VIII grados en la escala MSK, llegando hasta IX en el sector Santiago-Guantánamo. La magnitud máxima es de 8 grados en la escala Richter.
- Zona sismogeneradora Cauto-Nipe: Está asociada a la zona de fractura de igual nombre, con dirección suroeste-noreste desde las inmediaciones de Niquero hasta la bahía de Nipe. Constituye un límite ínter placa, que separa al Bloque Oriental Cubano del resto de la isla. La potencialidad sísmica de esta zona alcanza los 7 grados en la escala Richter, mientras que la intensidad sísmica, según el mapa complejo de la Región Oriental de Cuba señala valores entre VI y VII grados MSK.
- Zona sismogeneradora Sabana: Se encuentra asociada a la falla Sabana (falla Norte Cubana) o zona de sutura entre el Bloque Oriental Cubano y la Placa Norteamericana. La potencialidad sísmica es variable en el rango de VI a VII grados MSK, alcanzando sus máximos valores hacia su extremo oriental. Los principales focos sísmicos de la zona se localizan en los puntos de intersección de ésta con las fallas de dirección noreste y noroeste que la cortan.



**Figura 7.** Zonas sismogeneradoras principales que afectan al territorio oriental de Cuba, dentro de ellas se observan subzonas que afectan a Moa de manera directa. (Cortesía del CENAIIS, 1982)



## **CAPITULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LA INVESTIGACIÓN DESARROLLADA EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

- **Introducción**
  - **Etapas preliminar: Recopilación y revisión de la información existente.**
  - **Segunda etapa: Procesamiento de la información.**
  - **Tercera etapa: Interpretación de los resultados.**
- 

### **Introducción**

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación para la valoración ingeniero geológica de los suelos del sector Playa la vaca, según las tres etapas principales. Se parte de la revisión de los trabajos precedentes donde se adquiere la información base y se valora, a partir del análisis de las propiedades físico mecánicas el comportamiento de los suelos con vistas a emplear esta información en futuros trabajos de construcción en la zona.

La investigación en el área de estudio, se realiza en tres etapas fundamentales (ver Figura 8):

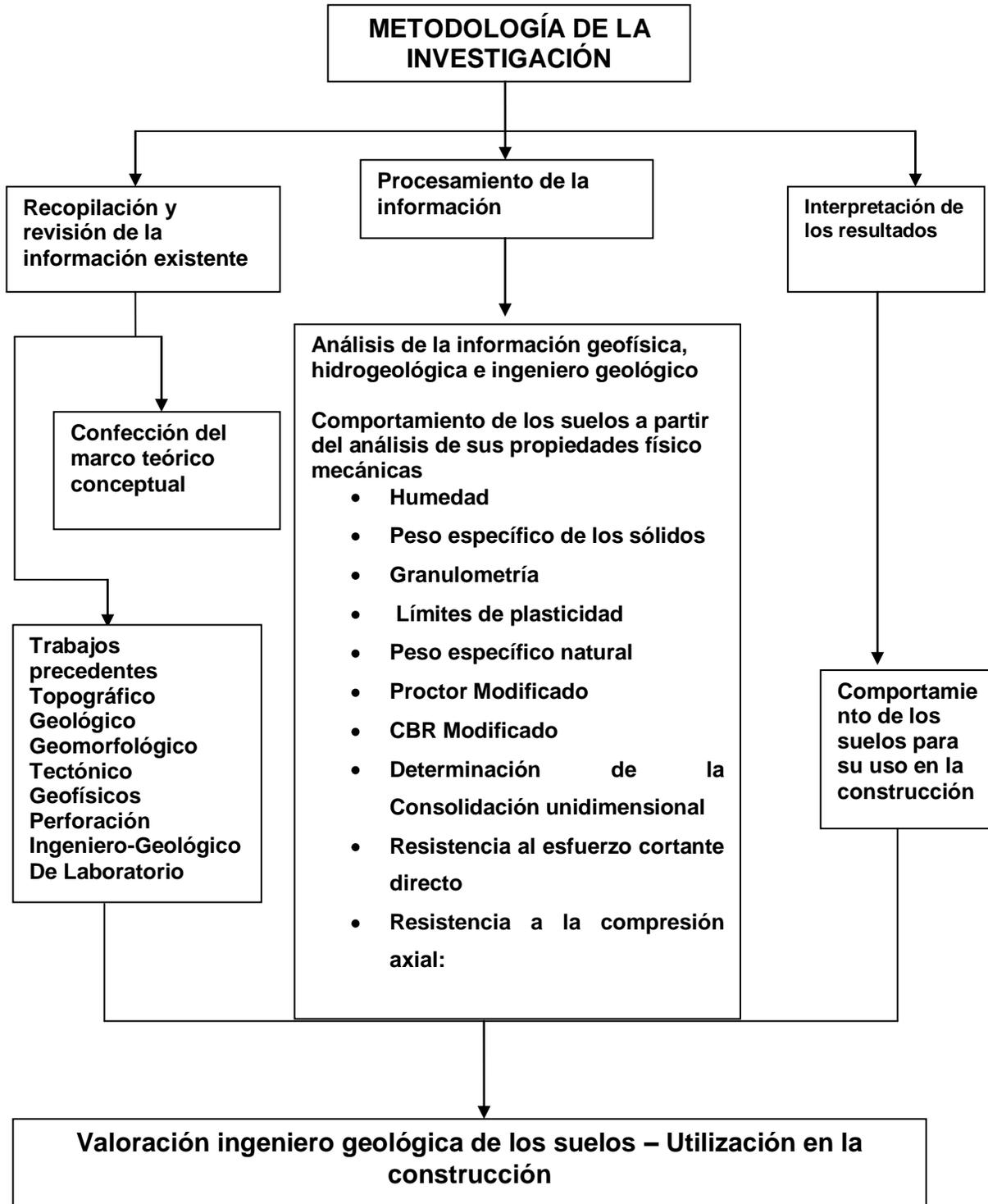


Figura 8. Metodología de las investigaciones desarrolladas.



## **2.1 Etapa preliminar: Recopilación y revisión de la información existente.**

En esta etapa se realiza el análisis de la bibliografía existente de la región y área de estudio, de la cual se revisa y recopila la información útil para la investigación. Se hacen búsquedas en el centro de información del ISMM, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorales, además de búsquedas en Internet. Como resultados se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geológico, ingeniero geológico, de bloques Morfotectónicos, tectónico, geomorfológico y el mapa topográfico 1:750. En esta etapa se confecciona el marco teórico conceptual de la investigación. De igual manera se adquieren los resultados de los ensayos de laboratorio para la determinación de las propiedades físico mecánicas.

## **2.2 Segunda etapa: Procesamiento de la información.**

El mapa topográfico constituye la información inicial para los estudios geomorfológicos, tectónicos; y es una herramienta fundamental en la interpretación hidrogeológica e ingeniero - geológica.

Para obtener las informaciones necesarias de campo y laboratorio que garantizan el cumplimiento del objetivo de la investigación se realizan visitas a la zona de estudio con el objetivo de precisar el tipo de perforación, los puntos de muestreo y la metodología a seguir en la toma de muestras para los diferentes ensayos de laboratorio.

Los volúmenes de trabajo (Tabla 2) corresponden a 39 calas que permiten la descripción del corte en profundidad y la toma de muestras inalteradas o semialteradas de suelos.



Actividad	U/M	Cantidad
<b>Topografía</b>		
Replanteo de puntos	U	39
<b>Perforación</b>		
Categoría B (0 – 20 m) Categoría C(0 – 20 m)	m	462
<i>Encamisado</i>		
<b>Camisa metálica lisa recuperada Hasta 20.0 m</b>	<b>m</b>	<b>116.0</b>
<b>Toma de muestras especiales</b>		
<b>Cuchara</b>	U	40
<b>Shelby</b>		12
<i>Trabajos de Laboratorio</i>		
Peso Específico de los Sólidos	U	20
Límites de Plasticidad		24
Granulometría		24
Humedad		24
Densidad natural		18
Consolidación natural		6
Cortante directo		6
Axial de roca		24
Proctor Modificado		12
CBR Modificado		24
Determinación de Materia Orgánica		10
Contenido de carbonato de calcio		10
Contenido de Sales Solubles Totales		10
Ensayos Químicos de Agua		9
<b>Ensayos de permeabilidad</b>		
Vertimientos de agua en calas	U	8
Cubeteos		10

**Tabla 2. Volúmenes de los trabajos realizados**

Los **trabajos de prospección geofísica** consisten en la prospección eléctrica para la obtención de imágenes bidimensionales, esta técnica es bastante precisa y está apoyada por un sistema automático de recolección y procesamiento de la información llegando a la representación tomográfica de secciones eléctricas hasta la profundidad planificada en el estudio. Combinando información de las perforaciones u otros métodos directos de



reconocimiento se pudo conocer la variabilidad continua de los parámetros geológicos en todo el espacio medido por la prospección tomográfica.

El dispositivo de medición utilizado fue el Wenner-Schlumberger. El sistema de medición se realiza a partir de multielectrodos, o sea combinaciones de cuádrupolos (4 electrodos, 2 de corriente y 2 de potencial), que de acuerdo al dispositivo conforman una pseudoimagen del corte, la que con posterioridad se transforma en imagen tomográfica de la resistividad ( $\rho$ ) real. Toda la programación a priori de los estudios se realiza minuciosamente atendiendo a la tarea técnica que se define resolver y donde tiene una importancia marcada el nivel máximo de profundidad requerido para el estudio, así como aspectos geológicos que son requeridos conocer como variaciones en profundidad y laterales de las litologías del corte.

El sistema de medición se conformó con 48 electrodos que se ubicaron a una distancia constante de 2 metros entre los mismos. Para completar la longitud total de medición del perfil de interés se utilizó la técnica de **Roll Along** que consiste en ir desplazando adecuadamente la mitad de la puesta electródica hacia la parte delantera o de avance y así consecutivamente hasta lograr alcanzar toda la longitud de estudio requerida. En la figura 1 se representa un esquema del proceso consecutivo que se ejecuta mediante la técnica de Roll Along. De esta manera se podrá apreciar que se van adicionando continuamente segmentos medidos cuando se adelanta en el perfil la mitad de la puesta de medición (24 electrodos) y así consecutivamente hasta lograr todo el perfil que se ha definido estudiar

Para garantizar mayor profundidad de estudio, correlación con las mediciones realizadas en dirección Sur Norte y con vistas al desmembramiento general del corte geológico presente se realizó un perfil con distancia interelectródica de 4 metros a lo largo del camino que atraviesa el área de estudio en dirección Este – Oeste el cual garantizó un reconocimiento hasta los 20 metros de profundidad.

Las imágenes de resistividad real se obtienen mediante un proceso de interpretación automatizado con un novedoso software (Syscal R1 Plus con Switch 48)

Para la medición de la  $\rho_a$ , se utilizó un complejo de equipos y accesorios integrados por el equipo Syscal R1 Plus con el Switch 48 de Iris Instruments de Francia.



ISMM

La zona de estudio se dividió en áreas de trabajo con sus correspondientes perfiles tomográficos.

Área 1.- Tres perfiles de investigación

Área 2.- Cinco perfiles de investigación

Área 3.- Tres perfiles de investigación

Área 4.- Un perfil de investigación

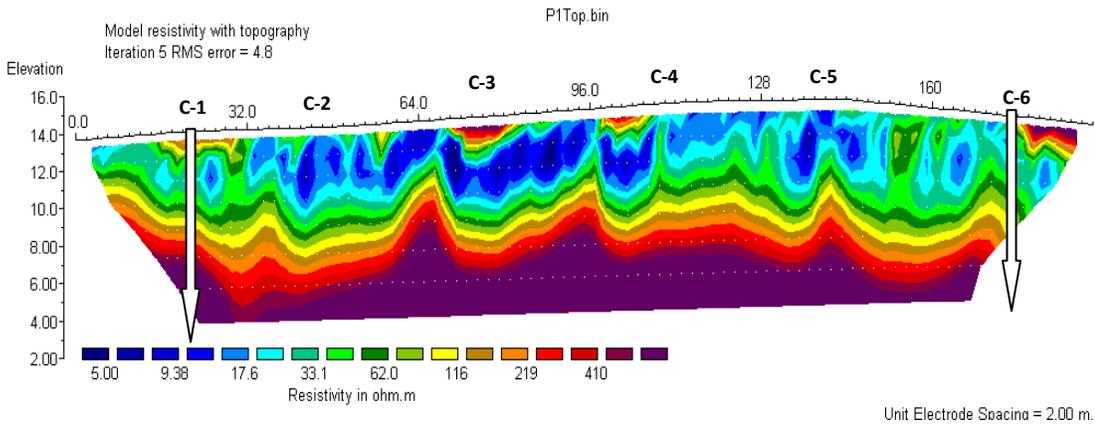
Área 5.- Perfil de enlace por el camino de acceso a la zona.

A continuación se representa el procedimiento de programación e interpretación de las imágenes:

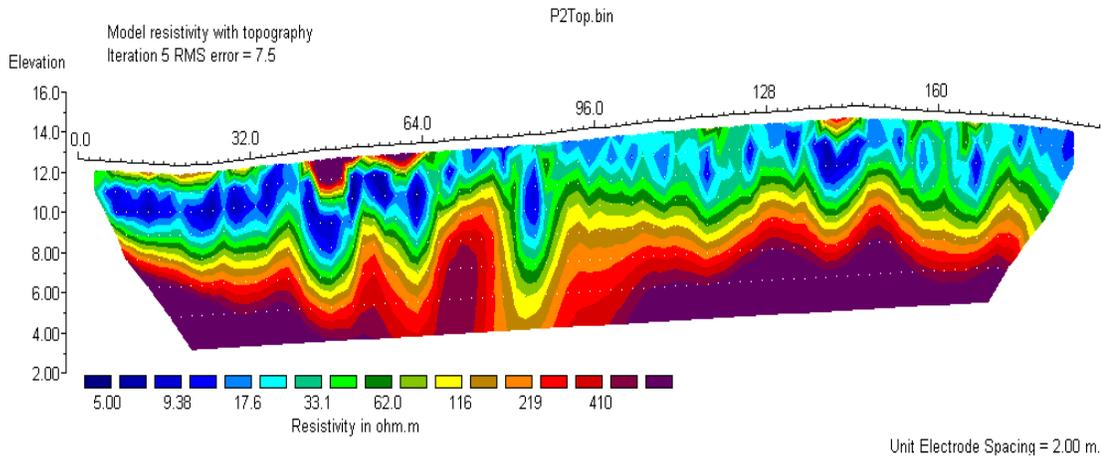
<p><b>1. Preparación de las mediciones.</b> <i>Electre II</i></p>	
<p><b>2. Mediciones de campo</b> <i>Syscal R1 Plus con Switch 48</i></p>	
<p><b>3 Transferencia e Interpretación.</b> <i>Res2DInv 2D (software)</i></p>	
<p><b>4. Interpretación Compleja</b></p>	<p><i>Se hace la interpretación definitiva con toda la información de campo.</i></p>
<p><b>5. Presentación del Informe.</b></p>	<p><i>Se conforma mediante representaciones gráficas y análisis escrito todo el proceso concluyente del trabajo.</i></p>



Como muestran los siguientes perfiles geofísicos a modo de ejemplo, estos comienzan antes del área que delimitan las perforaciones, por esa razón se han indicado en los perfiles las perforaciones iniciales y finales en cada uno de ellos.



**Perfil de Tomografía Eléctrica 2D "P1".**



**Perfil de Tomografía Eléctrica 2D "P2".**

Correlacionando los resultados tomográficos con la litología presente en el área se interpreta que la primera parte del corte corresponde a la capa eluvial de la roca serpentínica y suelos lateríticos caracterizada por bajos valores de Resistividad asociados a las diferentes tonalidades del color azul y verde claro. En la parte superior de estos cortes aparecen aisladamente pequeñas zonas con alta resistividad lo que se



corresponde con bloques aislados de la roca muy intemperizada dentro de la zona eluvial. A continuación aparece una transición gradual de aumento en los valores de Resistividad asociados a los colores desde verde claro pasando por verde oscuro, amarillo hasta el magenta oscuro de mayor resistividad que caracteriza los diferentes estados de intemperización de la roca hasta la más conservada que corresponde a los mayores valores de Resistividad y el color magenta oscuro.

Para estudiar el corte Sismogeológico y posible valoración de las propiedades físico mecánicas de las rocas presentes en el área de estudio con vistas al diseño de cimientos antisísmicos, se programa la utilización de la Sísmica de Refracción Somera en la variante de Perfilaje Sísmico con excitación por golpes mediante una mandarina de 4 Kg.

Se realizaron puestas sísmicas con la estación SUMMIT de 12 canales Alemana, ideal para exploraciones sísmicas con excitación por golpes, incluye tomografía de alta resolución, perfilaje sísmico vertical, refracción somera y sondeo sísmico profundo para diferentes aplicaciones, tales como estudios sismogeológicos, geotécnicos y de medio ambiente

Se midieron 6 puestas con geófonos transversales en el área, para tener una idea de la distribución de la velocidad transversal  $V_s$  que permite una mejor interpretación en el perfil principal, y la extensión de las relaciones  $V_p - V_s$  para evaluar las características geotécnicas de los tipos litológicos presentes y sus propiedades físico mecánicas.

Las 6 puestas sísmicas realizadas para conocer la velocidad de las ondas transversales  $V_s$ , se realizaron de forma tal que caracterizaran toda el área objeto de estudio.

Puestas	Ubicación
P-1	entre las calas 2 y 3
P-2	entre las calas 5 y 6
P-3	entre las calas 10 y 20
P-4	entre las calas 23 y 24
P-5	entre las calas 11 y 12
P-6	entre las calas 14 y 15



ISMM

Para realizar estas puestas se excavaron huecos y se colocó verticalmente el plato, para golpear transversalmente con la mandarina y lograr la oscilación de partículas de forma transversal a la dirección de la trenza, golpeando en cada cabeza de la misma en sentido opuesto ( $\Delta X = 3.0\text{m}$ )

La calidad de las mediciones fue buena, lográndose, tanto en los puntos de empalme como en los tiempos recíprocos diferencias menores a los 5 milisegundos, aceptables para la escala de los trabajos. Con las lecturas de los sismogramas fueron confeccionados los hodógrafos (gráficos de X vs T) y a partir de ellos se realizó la interpretación y cálculo de las velocidades de capas por el software SISMM.

El método utilizado es el de  $t_0$  que permite obtener la profundidad hasta los horizontes refractores en cada uno de los puntos de recepción, sus velocidades de frontera y a partir de ello confeccionar los cortes de velocidad.

Los **trabajos de perforación** consisten en 39 calas con profundidades que varían entre 6.00 y 15.00 m para un total de 462.00 metros lineales.

Para la realización de estos trabajos se aplica la Norma Cubana NC 327:2004 "Geotecnia. Perforación de calas ingeniero geológicas", con dos máquinas tipo Stratadrill-36, de fabricación inglesa, empleando el método de percusión en los depósitos no rocosos, con medición del número de golpes (Prueba de Penetración dinámica SPT), con diámetros de 76 mm y aplicando la presión hidráulica para la hincada de muestreadores de paredes delgadas (shelbys), según la NC 324:2004 "Geotecnia. Toma de muestras de suelo con muestreadores de paredes delgadas". En los depósitos rocosos se empleó el método de rotación con diámetros de 89 y 73 mm, utilizando portatestigos especiales NWM y NWG (sistema de doble tubo) con corona de tungsteno, con muy poco contacto con el agua, lo que garantiza una buena recuperación de testigos cuando el estado de la roca lo permite. La descripción de los depósitos no rocosos fue realizada sobre la base de la NC 61:2000 "Geotecnia. Identificación y descripción de suelos (examen visual y ensayos manuales simples).

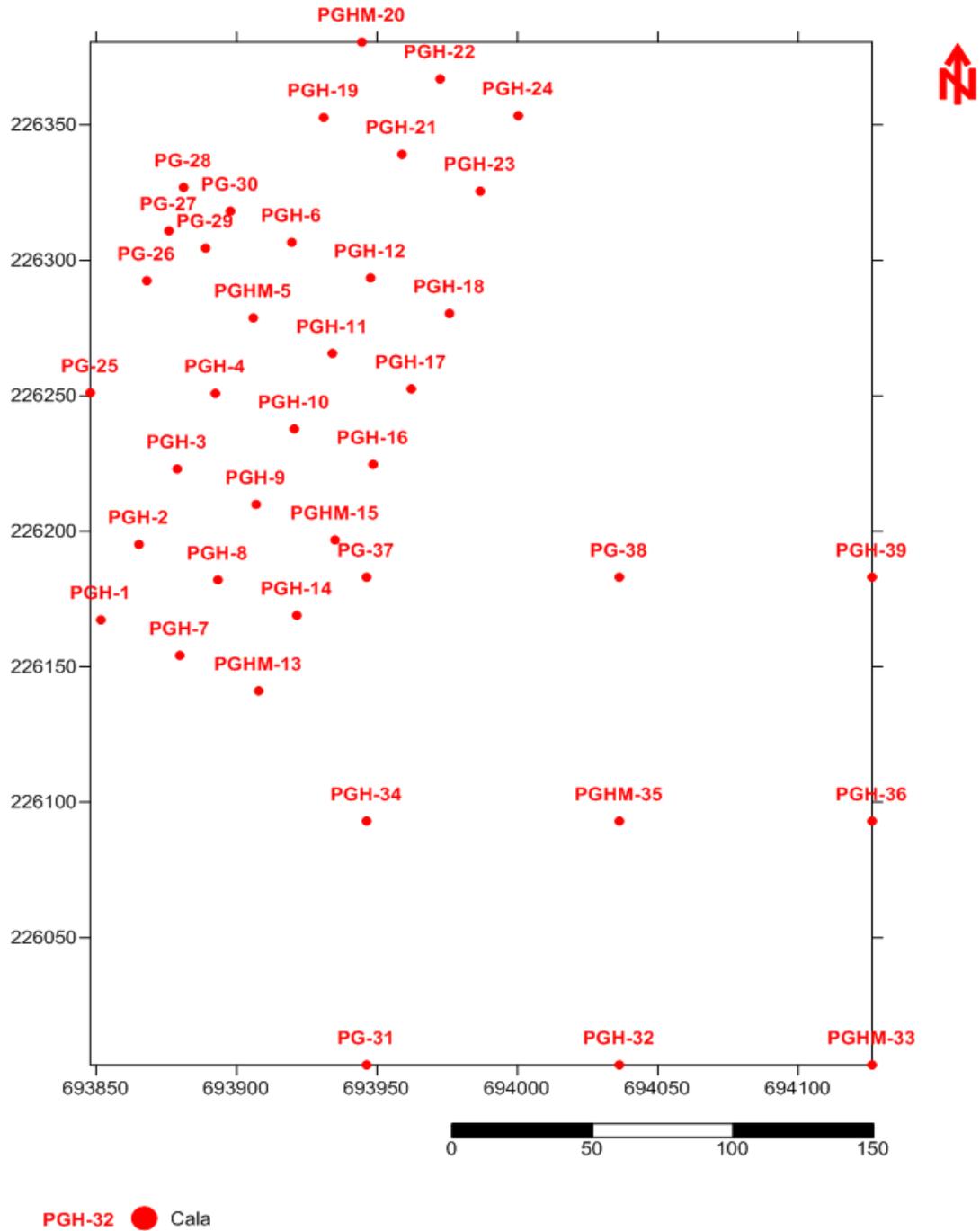


Figura 9. Mapa de datos reales (Modificado de Madrigal y Carmenate, 2010)



ISMM

La distribución y profundidad de las calas según el objetivo de las mismas se muestra a continuación:

Calas	Profundidad	Total Cant calas/ metros
PGH-1	15.00	18 / 270
PGH-2	15.00	
PGH-3	15.00	
PGH-4	15.00	
PGH-5	15.00	
PGH-6	15.00	
PGH-7	15.00	
PGH-8	15.00	
PGH-9	15.00	
PGH-10	15.00	
PGH-11	15.00	
PGH-12	15.00	
PGHM-13	15.00	
PGH-14	15.00	
PGHM-15	15.00	
PGH-16	15.00	
PGH-17	15.00	
PGH-18	15.00	
PGH-19	10.00	6 / 63
PGHM-20	13.00	
PGH-21	10.00	
PGH-22	10.00	
PGH-23	10.00	
PGH-24	10.00	
PG-25	10.00	2 / 20
PG-26	10.00	
PG-27	10.00	4 / 40
PG-28	10.00	
PG-29	10.00	
PG-30	10.00	
PG-31	6.00	9 / 54
PGH-32	6.00	
PGHM-33	6.00	
PGH-34	6.00	
PGHM-35	6.00	
PGH-36	6.00	
PGH-37	6.00	
PGH-38	6.00	
PGH-39	6.00	



Dentro de los **trabajos hidrogeológicos** se realizan pruebas de permeabilidad en calas (vertimiento de agua por el método express y cubeteos), para la determinación del coeficiente de filtración de los tipos litológicos presentes, aplicando las Normas Cubanas NC 54-151:78. Suelos. Pruebas de permeabilidad in situ y NC 54-112:89 Ensayos de Permeabilidad en calas. Vertimiento de agua; mediciones sistemáticas del nivel freático en las calas en que este fue cortado.

Se realiza observación detallada de los testigos de roca recuperados durante la perforación, describiendo las discontinuidades presentes cada 25,0 cm de cada sondeo de 1.0 m de longitud, teniendo en cuenta la cantidad de discontinuidades, su tipo, génesis de las mismas, características de sus superficies, características del relleno, el ángulo de inclinación con respecto al eje de la perforación, espaciamiento y otros aspectos. En cada sondeo fue determinado el % de recuperación, el % de recuperación esférica SCR y la evaluación de la calidad de la roca mediante la determinación del RQD. Con las observaciones realizadas, posteriormente fue aplicada la clasificación geomecánica RMR, por la metodología establecida por Bieniawski (1979).

Los **trabajos de laboratorio** permiten determinar las propiedades de los suelos y rocas para su posterior clasificación según el sistema Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS), mediante ensayos físicos, mecánicos realizados según las especificaciones de las siguientes normas:

- Peso específico de los sólidos : ASTM D 854 – 98
- Granulometría: ASTM D 421-85 (Reaprobada en 1998)
- Límites de plasticidad : ASTM D 4318 – 98
- Humedad natural : ASTM D 2216-98
- Peso específico natural: NC-156:2002
- Proctor Modificado: ASTM D 1557-91
- CBR Modificado ASTM D 1883-94
- Determinación de la Consolidación unidim: NC 054-135 :78 basada en la ASTM D 2435-96
- Resistencia al esfuerzo cortante directo: NC 325:2004
- Resistencia a la compresión axial: ASTM D 2938 – 86



Los **trabajos de gabinete** consisten en la interpretación y correlación de los resultados de todos los trabajos de campo y laboratorio realizados y en la elaboración de anexos gráficos, que garantizan finalmente la confección de la memoria escrita, debiendo utilizarse y aplicarse diferentes normas, instructivos y programas entre los que pueden mencionarse los siguientes: EXCEL, AutoCAD Map 2000 y SURFER 8: para la confección de la cartografía digital.

### **Valoración ingeniero geológica de los suelos del sector Playa la vaca para su uso en la construcción**

De acuerdo al tamaño del área de estudio, el grado de estudio, las características de la información de base y del sistema Hardware-Software, se utilizó como escala de trabajo 1:2000.

La metodología se inicia con la clasificación de los suelos para definir el tipo que existe en esta zona empleando el SUCS, con el objetivo de analizar cada una de las propiedades físico mecánicas del suelo. En la valoración del comportamiento de los suelos se realiza el análisis de cada propiedad, además de la valoración de los principales sistemas de fallas y el accionar de los bloques morfotectónicos. También se emplearon elementos geomorfológicos como la pendiente del terreno que permite valorar el movimiento de las aguas pluviométricas; la influencia del escurrimiento superficial, de la profundidad del manto acuífero y el espesor de la capa de suelos con sus propiedades.

Para el análisis de cada propiedad se tienen en consideración los tipos de suelos que existen en el área, para ello se determina el valor medio de los índices para cada capa y se realiza una valoración de su comportamiento.

### **2.3 Tercera etapa: Interpretación de los resultados.**

En esta etapa se interpretan los resultados obtenidos por los métodos eléctricos y sísmicos empleados, se analizan las propiedades físico mecánicas de los suelos, se correlacionan los resultados y finalmente se valoran desde el punto de vista ingeniero geológico los suelos según su comportamiento.



## **CAPITULO III.**

### **VALORACION INGENIERO GEOLOGICA DE LOS SUELOS DEL SECTOR PLAYA LA VACA, PARA FUTUROS TRABAJOS CONSTRUCTIVOS.**

- **Introducción**
  - **Análisis de las propiedades físico mecánicas de los suelos.**
  - **Valoración ingeniero geológico de los suelos del sector playa la vaca para futuros trabajos constructivos.**
- 

#### **Introducción**

Los suelos naturales están formados por un conjunto discontinuo de partículas, que constituyen un sistema en el que se distinguen tres fases: sólida, líquida y gaseosa, relacionadas entre si. Una característica de los suelos naturales es que los poros entre partículas sólidas están ocupados por cantidades variables de agua y aire, sobre todo en la parte superior. La variabilidad espacio temporal de la humedad y con ello del grado de saturación se debe a los ciclos de secados y humedecimiento que experimentan los suelos por las condiciones climáticas (lluvia y evaporación).

El volumen de precipitaciones registrada en la región de Moa, intensa evaporación, altas temperaturas y continuas fluctuaciones del nivel acuífero de las aguas subterráneas debido a la recarga local o regional que experimentan las mismas, someten a los suelos de esta región a diferentes ciclos de secado y humedecimiento en el año.



### **3.1 Resultado de los métodos de prospección geofísica aplicados.**

#### **Geoelectricidad. Tomografías Eléctricas.**

En el área se han presentado en algunos intervalos de los perfiles tomográficos valores altos de  $\rho$ , pero de poca potencia y por lo general aislados, por esa razón sobre todo en el mapa de H=0,50 metros se presenta un sector anómalo en este nivel pero después disminuye hasta que desaparece.

Correlacionando los resultados Tomográficos con la litología presente en el área se puede interpretar que la primera parte del corte corresponde a la capa eluvial de la roca serpentínica y suelos lateríticos caracterizada por bajos valores relativos de Resistividad asociados a las diferentes tonalidades del color azul y verde claro. En la parte superior de estos cortes aparecen aisladamente pequeñas zonas con alta Resistividad lo que se debe corresponder con bloques aislados de la roca muy intemperizada embebidos dentro de la zona eluvial.

A continuación aparece una transición gradual de aumento en los valores de Resistividad asociados a los colores desde verde claro pasando por verde oscuro, amarillo hasta el magenta oscuro de mayor Resistividad que debe caracterizar los diferentes estados de intemperización de la roca hasta la más conservada que corresponde a los mayores valores de Resistividad y el color magenta oscuro. Esta interpretación general del Corte Geológico presente queda muy bien correlacionada en los resultados obtenidos por la tomografía realizada por el camino de acceso al área en la que se alcanzó una profundidad de investigación de 20 metros al separar los electrodos hasta una distancia de 4 metros.

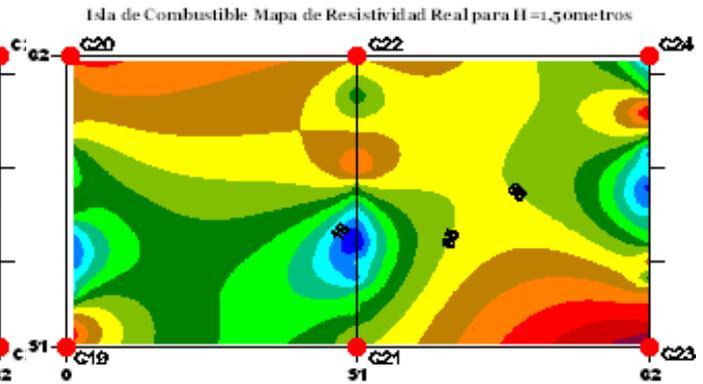
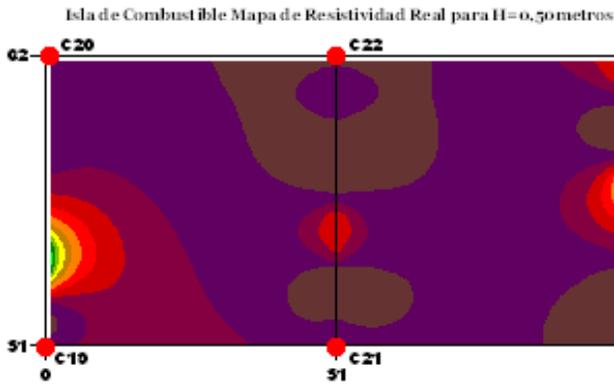
Los mapas de Resistividad real para diferentes profundidades que permiten seguir el cambio gradual en aumento de la Resistividad con la profundidad y las aisladas y superficiales zonas de alta Resistividad relacionadas a los cuerpos de roca dentro de la capa eluvial.

A continuación se presentan los planos de Resistividades reales para diferentes profundidades elaborados mediante el software Surfer 8.0 que permiten tener una visión a nivel de área del comportamiento de la Resistividad y por tanto los litotipos presentes correlacionados con esta.



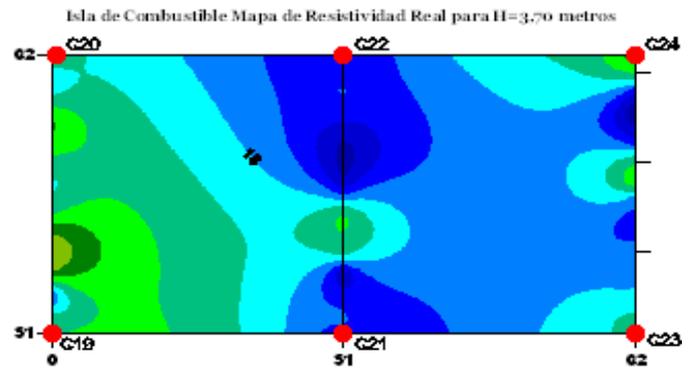
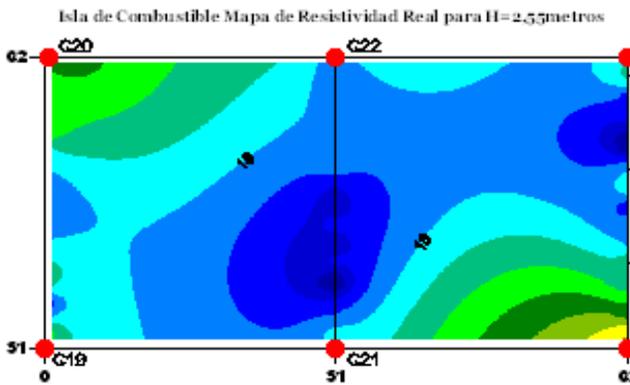
Mapa de Resistividad Real para H=0.50 m

Mapa de Resistividad Real para H=1.30 m



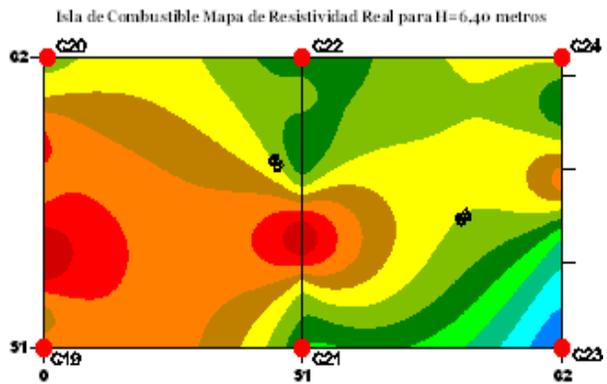
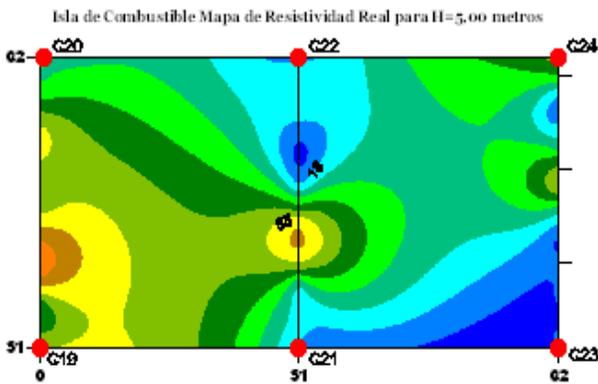
Mapa de Resistividad Real para H=2.50 m

Mapa de Resistividad Real para H=3.70 m



Mapa de Resistividad Real para H=5.00 m

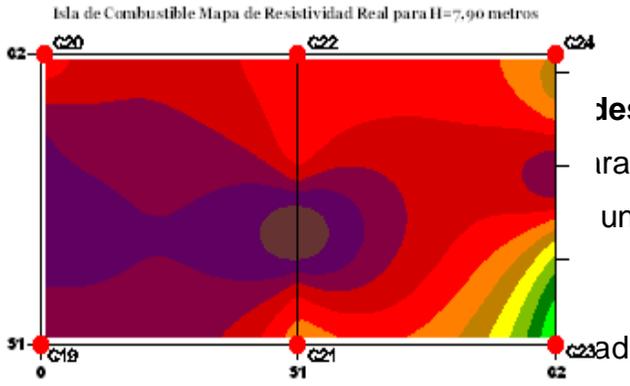
Mapa de Resistividad Real para H=6.40 m





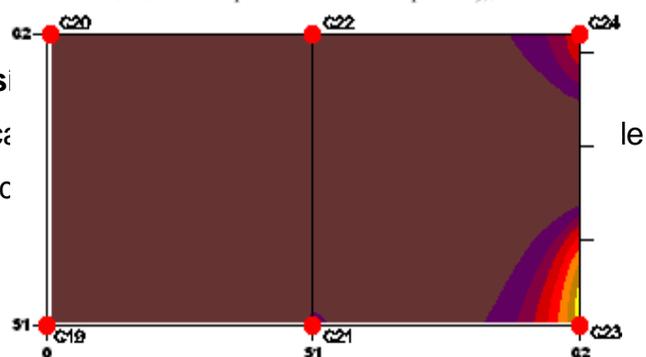
Mapa de Resistividad Real para H=7.90

Mapa de resistividad Real para H=9.60 m



les si  
ira ca  
una c

ad



le

ad

ad

ad

ad

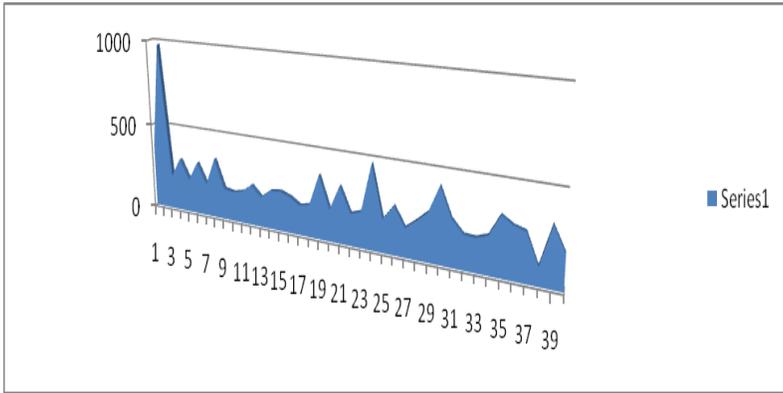
ad

ad

ad

ad

ad

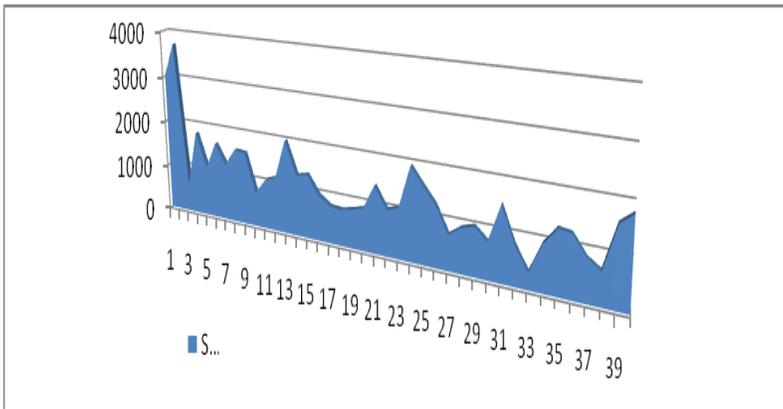


Column A

Number of values	40
Sum	10461
Minimum	103
Maximum	980
Mean	261.5
Standard deviation	140.9

Capa 2

Se presenta con los valores intermedios de velocidad



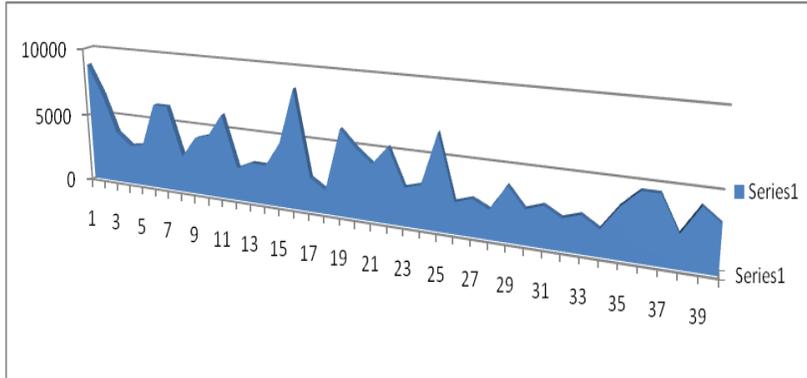
Column A

<u>Number of values</u>	<u>40</u>
<u>Sum</u>	<u>51077</u>
<u>Minimum</u>	<u>350</u>
<u>Maximum</u>	<u>3731</u>
<u>Mean</u>	<u>1276.9</u>
<u>Standard deviation</u>	<u>632.06</u>



**Capa 3**

Se presenta con los valores más altos de velocidad.



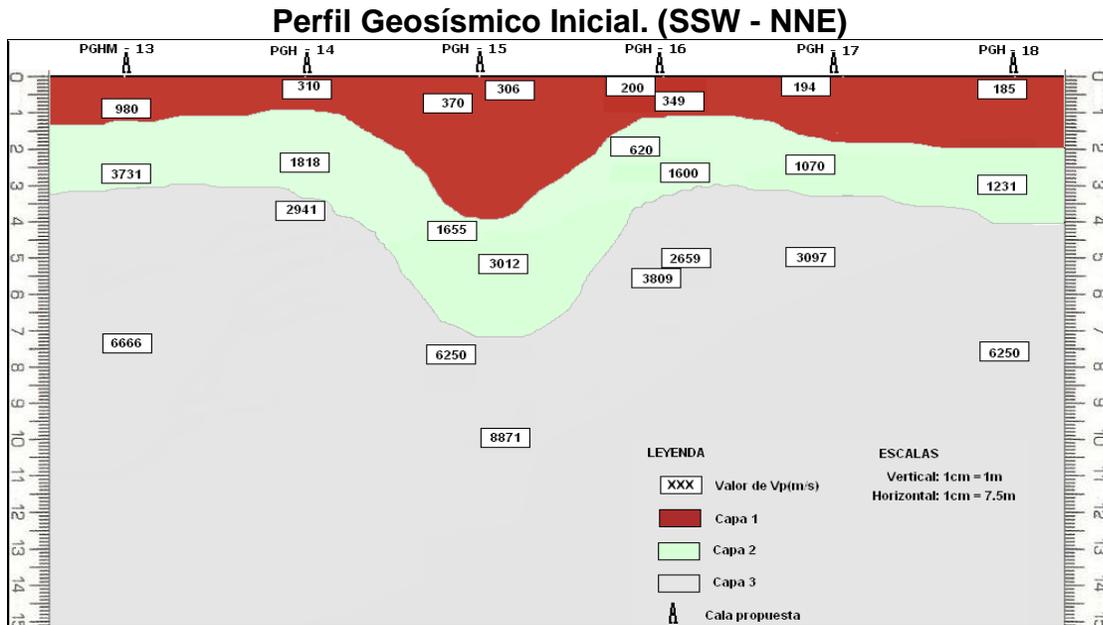
Column A	
Number of values	40
Sum	157691
Minimum	1690
Maximum	8771
Mean	3942.3
Standard deviation	

Se midieron 6 puestas con geófonos transversales en el área, con el objetivo de obtener una idea de la distribución de la velocidad transversal Vs que nos permitiera una mejor interpretación en el perfil principal y la extensión de las relaciones Vp - Vs para evaluar las características geotécnicas de los tipos litológicos presentes así como sus propiedades físico mecánicas.

124	Vs para Capa 1	
88		<b>Number of values</b>
112		<b>Sum</b>
113		<b>Minimum</b>
98		<b>Maximum</b>
87		<b>Mean</b>
118		<b>Standard deviation</b>
113		
164		
138		
102		
102		

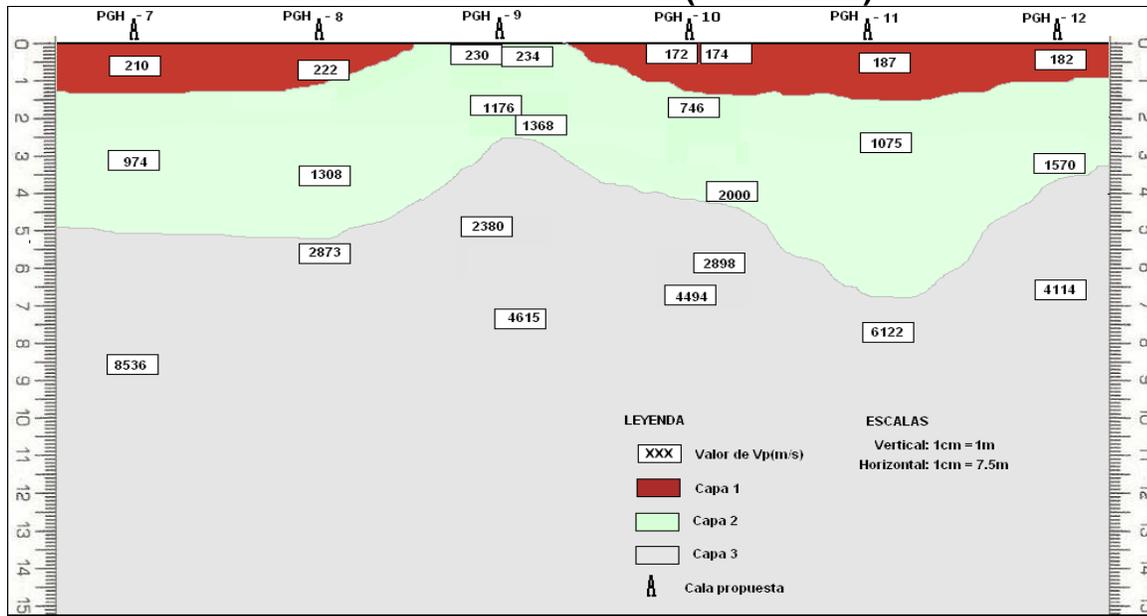


210	Vs para Capa 2													
279		<table border="1"> <tr> <td><b>Number of values</b></td> <td><b>12</b></td> </tr> <tr> <td><b>Sum</b></td> <td><b>2208</b></td> </tr> <tr> <td><b>Minimum</b></td> <td><b>115</b></td> </tr> <tr> <td><b>Maximum</b></td> <td><b>288</b></td> </tr> <tr> <td><b>Mean</b></td> <td><b>184</b></td> </tr> <tr> <td><b>Standard deviation</b></td> <td><b>65.93</b></td> </tr> </table>	<b>Number of values</b>	<b>12</b>	<b>Sum</b>	<b>2208</b>	<b>Minimum</b>	<b>115</b>	<b>Maximum</b>	<b>288</b>	<b>Mean</b>	<b>184</b>	<b>Standard deviation</b>	<b>65.93</b>
<b>Number of values</b>		<b>12</b>												
<b>Sum</b>		<b>2208</b>												
<b>Minimum</b>		<b>115</b>												
<b>Maximum</b>		<b>288</b>												
<b>Mean</b>		<b>184</b>												
<b>Standard deviation</b>		<b>65.93</b>												
148														
160														
131														
124														
169														
182														
288														
283														
119														
115														

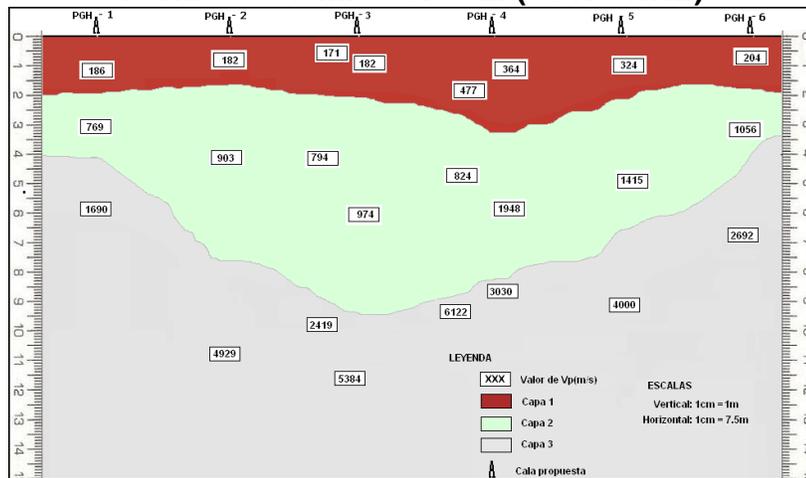




### Perfil Geosísmico SIS - 1. (SSW - NNE)

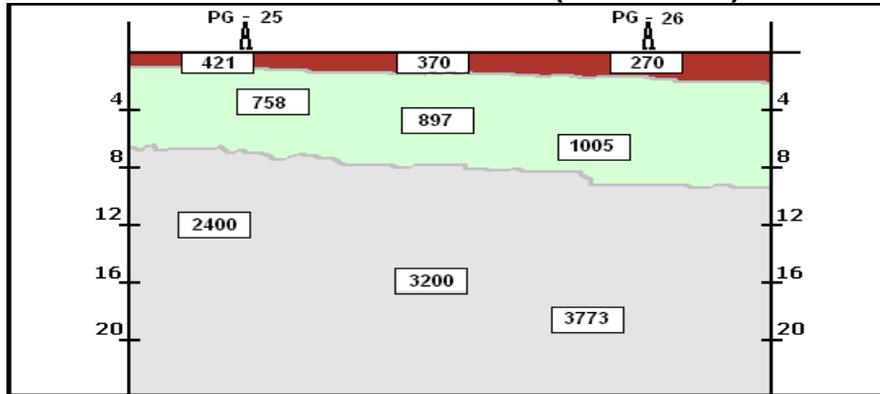


### Perfil Geosísmico SIS - 2. (SSW - NNE)





### Perfil Geosísmico SIS - 3. (SSW - NNE)



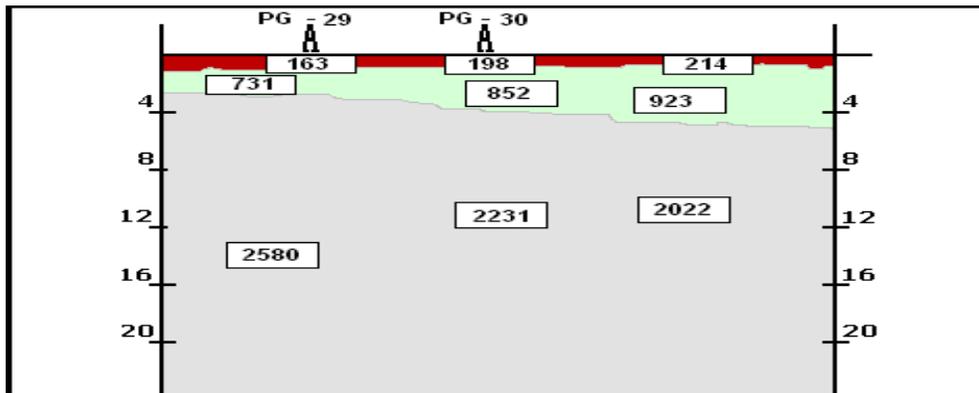
**LEYENDA**

- XXX Valor de Vp(m/s)
- Capa 1
- Capa 2
- Capa 3
- Cala propuesta

**ESCALAS**

Vertical: 1cm = 4m  
Horizontal: 1cm = 7.5m

### Perfil Geosísmico SIS - 4. (SSW - NNE)



**LEYENDA**

- XXX Valor de Vp(m/s)
- Capa 1
- Capa 2
- Capa 3
- Cala propuesta

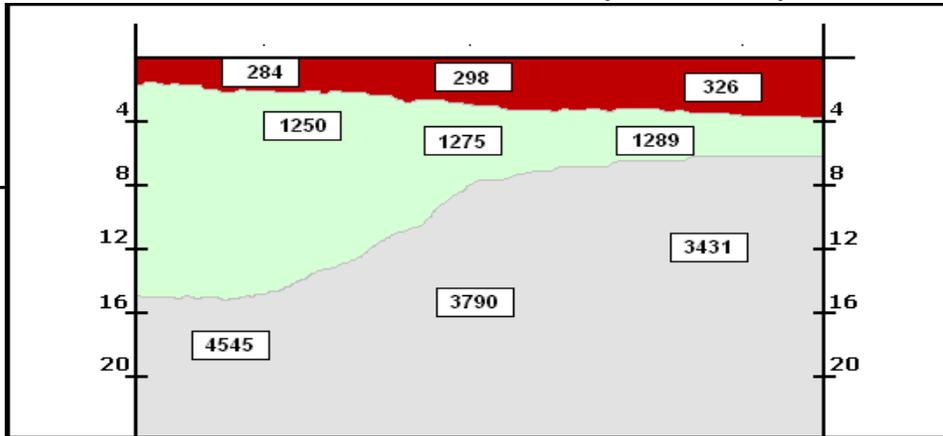
**ESCALAS**

Vertical: 1cm = 4m  
Horizontal: 1cm = 7.5m



ISMM

### Perfil Geosísmico SIS - 5. (SSW - NNE)



LEYENDA

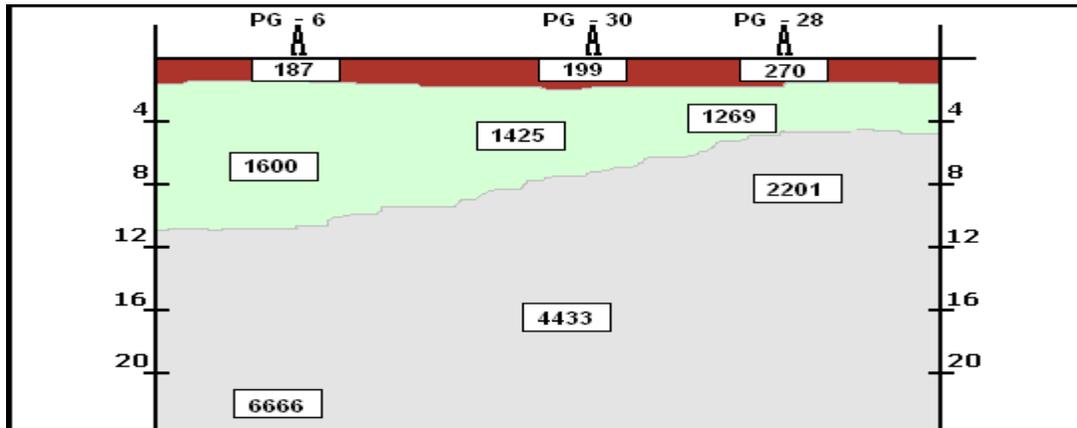
- XXX Valor de Vp(m/s)
- Capa 1
- Capa 2
- Capa 3

ESCALAS

Vertical: 1cm = 4m  
Horizontal: 1cm = 7.5m

- XXX Valor de Vp(m/s)
- Capa 1
- Capa 2
- Capa 3

Vertical: 1cm = 4m  
Horizontal: 1cm = 7.5m

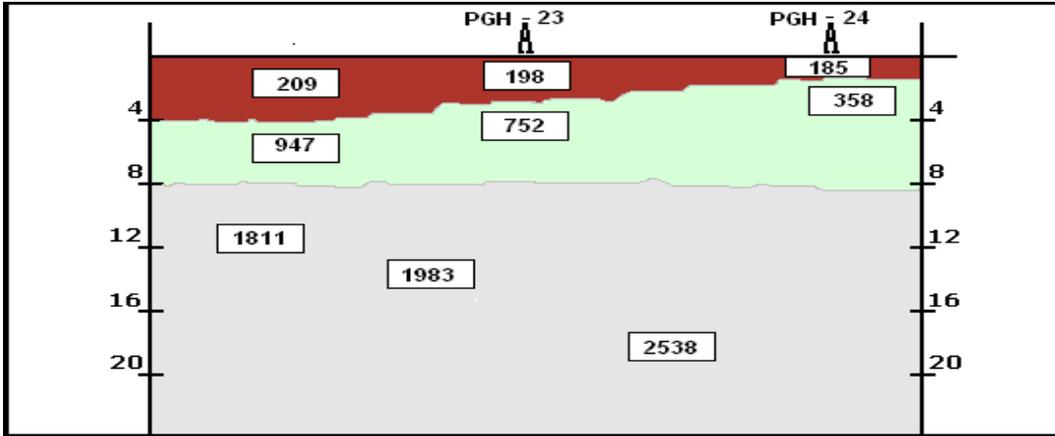


LEYENDA

- XXX Valor de Vp(m/s)
- Capa 1
- Capa 2
- Capa 3
- Cala propuesta

ESCALAS

Vertical: 1cm = 4m  
Horizontal: 1cm = 7.5m

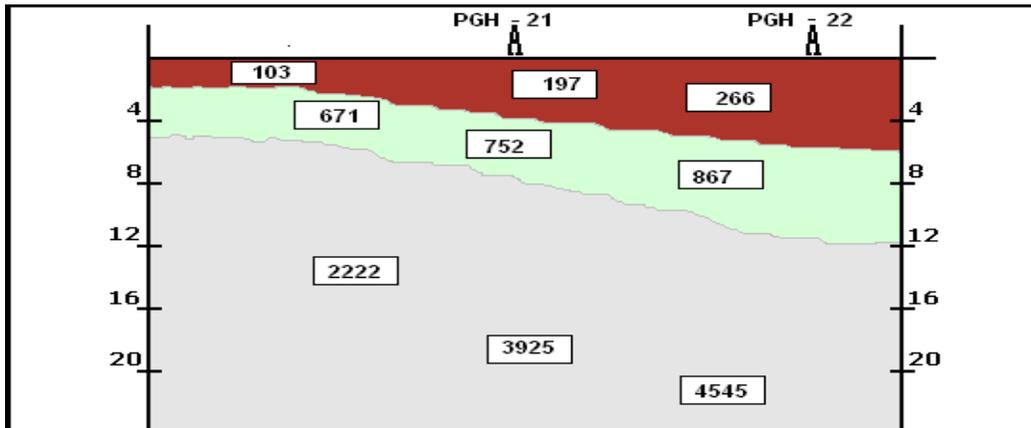


LEYENDA

- XXX Valor de Vp(m/s)
- Capa 1
- Capa 2
- Capa 3
- Cala propuesta

ESCALAS

Vertical: 1cm = 4m  
Horizontal: 1cm = 7.5m



LEYENDA

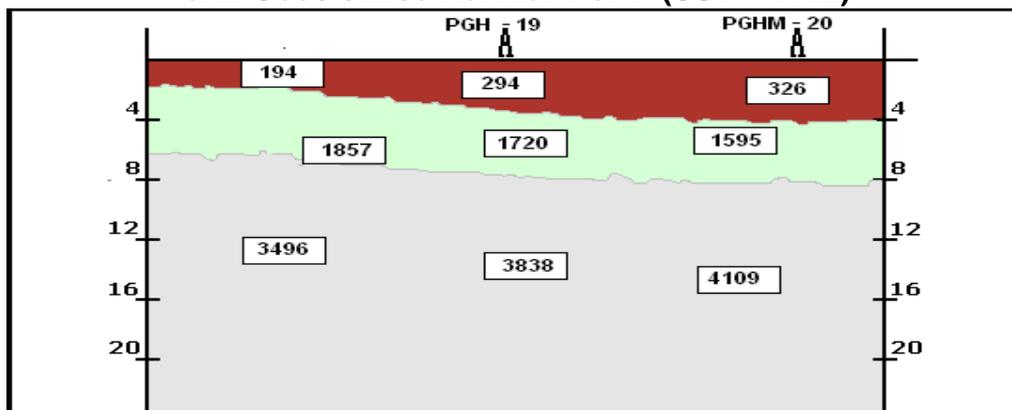
- XXX Valor de Vp(m/s)
- Capa 1
- Capa 2
- Capa 3
- Cala propuesta

ESCALAS

Vertical: 1cm = 4m  
Horizontal: 1cm = 7.5m



**Perfil Geosísmico Auxiliar No. 4. (SSW - NNE)**



**LEYENDA**

- XXX Valor de Vp(m/s)
- Capa 1
- Capa 2
- Capa 3
- Cala propuesta

**ESCALAS**

Vertical: 1cm = 4m  
Horizontal: 1cm = 7.5m

**3.2 Valoración Ingeniero geológica de los suelos del sector Playa la vaca para su uso en la construcción**

A continuación la tabla de valores de propiedades mecánicas:

Capa	Descripción	Velocidad P m/s		Velocidad S m/s		Coef. Poisson	Modulo de Young MPa
1	Capa vegetal suelo rojizo con perdigones fragmentos de serpentinita alterada y meteorizada.	Vp max	980	Vs máx	164	0.24	
		Vp med	261	Vs med	113	0.20	
		Vp min	103	Vs mín	87		
2	Suelo Serpentiniticas alterada y meteorizada saprolitas.	Vp max	3731	Vs máx	288	0.32	2 484
		Vp med	1276	Vs med	184	0.27	2 534
		Vp min	350	Vs mín	115	0.15	2 026
3	Serpentinita fresca poco alterada peridotita.	Vp max	8771			0.33	9 619
		Vp med	3942			0.32	4 460
		Vp min	1690			0.29	2 819

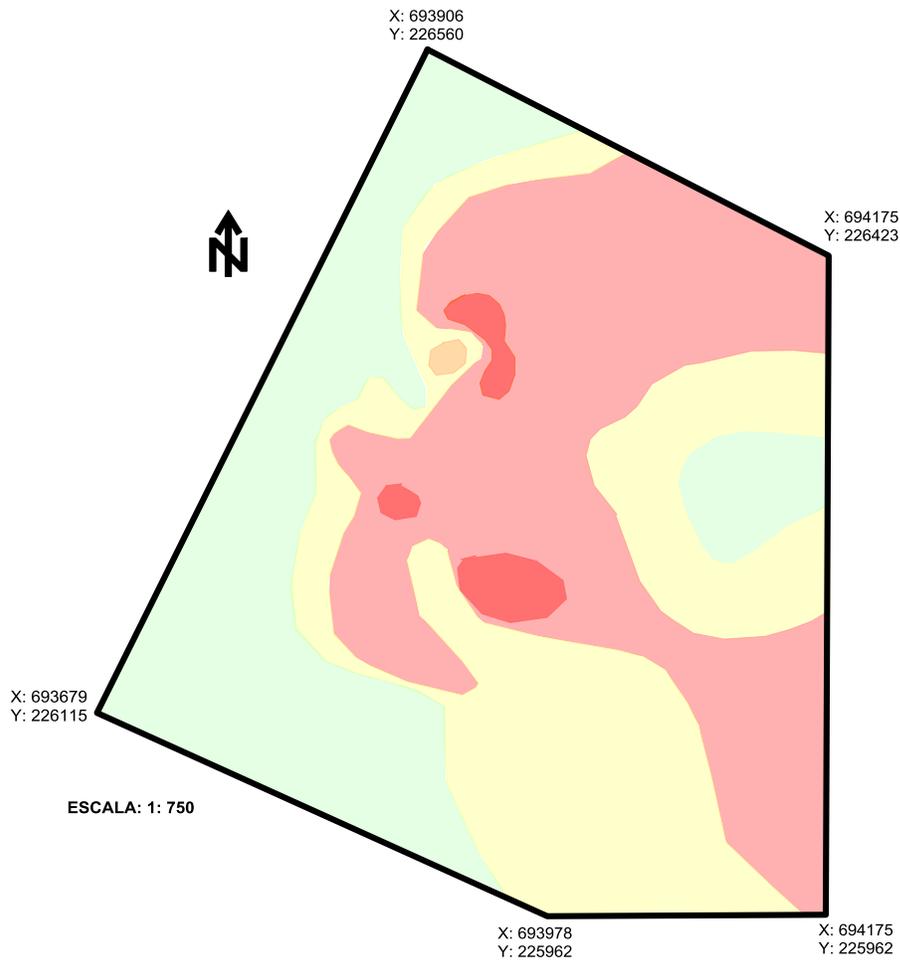


A partir del contraste de los resultados del método de Tomografía Eléctrica con los de Sísmica y de las calas realizadas, se establecen en el área investigada las siguientes capas:

- Capa 1 asociada con la Capa Vegetal y al suelo arcilloso, llega hasta los 2 metros, y presenta los siguientes valores de velocidad: la velocidad máxima 980 m/s, velocidad media de 261 m/s y valor mínimo de 103 m/s.
- Capa 2 material areno arcilloso posible saprolita presenta los siguientes valores de velocidad: la velocidad máxima 3731 m/s, velocidad media de 1276 m/s y valor mínimo de 350 m/s.
- Capa 3 asociada con serpentinita o peridotita, presenta los siguientes valores de velocidad: la velocidad máxima 8771 m/s, velocidad media de 3942 m/s y valor mínimo de 1690 m/s.

Las velocidades sísmicas obtenidas  $V_p$  definen que las litologías presentes son ripables o de ripado fácil, por lo que no requieren el uso de explosivos para ser excavados, excepto en algunas partes de la capa 3 donde la roca ha alcanzado mayor dureza.

Los suelos del área de estudio constituyen todo el material que sirve de base para el emplazamiento de las construcciones. Luego de interpretar y correlacionar los resultados obtenidos de las descripciones tacto visuales de los suelos y rocas recuperadas durante la perforación de las calas, complementado con el análisis de los ensayos de laboratorio, se determinan los tipos litológicos presentes en el área, los que desde el punto de vista geotécnico componen diferentes capas o elementos ingeniero geológicos (Figura 10).



CAPA	SUELOS			ROCAS		DESCRIPCIÓN
	1	2	3	I	II	
1						Suelo laterítico: Limo plástico, de color rojo, consistencia firme a dura, poco compacto, muy húmedo y de origen deluvial
2						Limo plástico arenoso, carnemita verdoso a amarillento, con manchas rojas de Oxido de Hierro, muy húmeda en partes saturada, de consistencia dura, poco compacta
3						Serpentinita de muy meteorizada a meteorizada de color gris azulado con tonos verdosos y manchas rojas de Oxido de Hierro

**Figura 10. Mapa Ingeniero geológico, modificado Madrigal 2010**

La descripción de las diferentes capas o elementos ingenieros geológicos, y sus propiedades físicas – mecánicas se ofrecen a continuación:

- Capa Vegetal:** es una mezcla de suelo laterítico y abundantes raíces finas; aparece en gran parte del área con espesores que varían entre 0.10 y 0.80 m.



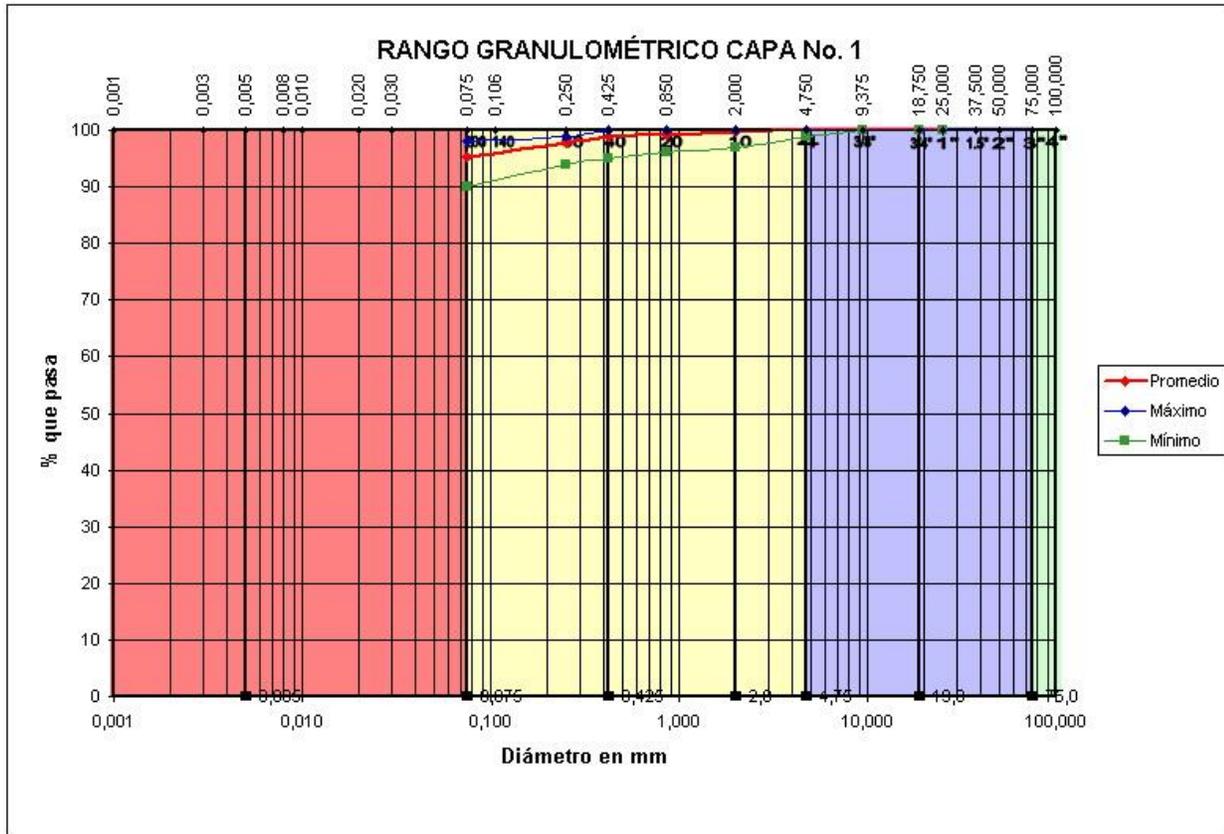
- **Capa 1:** Suelo laterítico redepositado, representado por **limos plásticos**, de color rojo, de consistencia firme a dura, poco compacto, muy húmedo y de origen deluvial. De acuerdo a la NC 59:2000 clasifica como **MH**. Se presenta con espesores que varían desde 0.25 hasta 3.10 m. Según la descripción tacto visual y la NC 61:2000 la resistencia seca es baja, la dilatancia es lenta, la tenacidad es media, reacción al HCL nula y la estructura es homogénea. Por el índice de poros es un suelo poco compacto, de alta compresibilidad y por el módulo de deformación E es de capacidad media de deformación (Tabla 3). Este suelo presenta un comportamiento muy homogéneo en cuanto a su composición granulométrica, lo que se observa en el gráfico del rango granulométrico de la Figura 11.

Aparece en gran parte del área estudiada, no siendo cortada en las calas 9, 14, 19, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35 y 39.

Fino (< tamiz 200)	95 %
Arena	5 %
Grava	0 %
Límite Líquido (LL)	73 %
Límite Plástico (LP)	44 %
Índice Plástico (IP)	29 %
Peso específico de los sólidos (Gs)	34.0 kN/m <sup>3</sup>
Humedad Natural (W)	47.3 %
Peso Específico Húmedo ( $\gamma_f$ )	17.3 kN/m <sup>3</sup>
Peso Específico Seco ( $\gamma_d$ )	11.7 kN/m <sup>3</sup>
Índice de Poros (e)	1.90
Saturación (S)	85 %
Índice de Consistencia	0.89
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	7 °
Cohesión (C)	47 kPa
Módulo de deformación ( $E_{50-100 \text{ kPa}}$ )	6500 kPa
Módulo de deformación ( $E_{100-200 \text{ kPa}}$ )	14000 kPa
Módulo de deformación ( $E_{200-400 \text{ kPa}}$ )	18700 kPa
Coficiente de Poisson*	0.35*



**Tabla 3. Propiedades físico mecánicas de la Capa 1.**



% Arena	Fina (%)	Media (%)	Gruesa (%)
5	4	1	0
0,075-4,75 mm	0,075-0,425 mm	0,425-2,00 mm	2,00-4,75 mm
% Gravas	Fina (%)	Gruesa (%)	
0	0	0	
4,75-75 mm	4,75-19 mm	19-75 mm	

% Finos	% Arena	% Gravas	% Guijarros
95	5	0	0
< 0,075 mm	0,075-4,75 mm	4,75-75 mm	75-300 mm
Clasificación	<b>MH</b>		
NC 59:2000	<b>"Limo plástico"</b>		

NOTA: Los Valores corresponden a la Curva Promedio

**Figura 11. Gráfico granulométrico de la Capa 1.**

- Capa 2: Limo plástico arenoso**, de color carmelita verdoso a amarillento, con manchas rojas de Oxido de Hierro, muy húmeda, en partes saturada, de consistencia dura, poco compacto, con densidades secas menores que 10.0 kN/m<sup>3</sup> y es de origen eluvial (saprolita). De acuerdo a la NC 59:2000 clasifica como **MH** y según la NC 61:2000 la resistencia seca es baja, la dilatancia es lenta, la tenacidad es baja, no reacciona con el HCL y la estructura es homogénea. Teniendo en cuenta el índice de poros que alcanza este suelo es poco compacto (Tabla 4).



Aparece en casi toda el área estudiada, cortándose por todas las calas excepto la cala 30, algunas veces aparece como la primera capa del corte debajo de la capa vegetal y en otras subyace a la capa 1, cubriendo en ambos casos al rocoso serpentinitico (Capa 3). Su espesor varía entre 0.20 m en la cala 20 y 7.25 m en la cala 3.

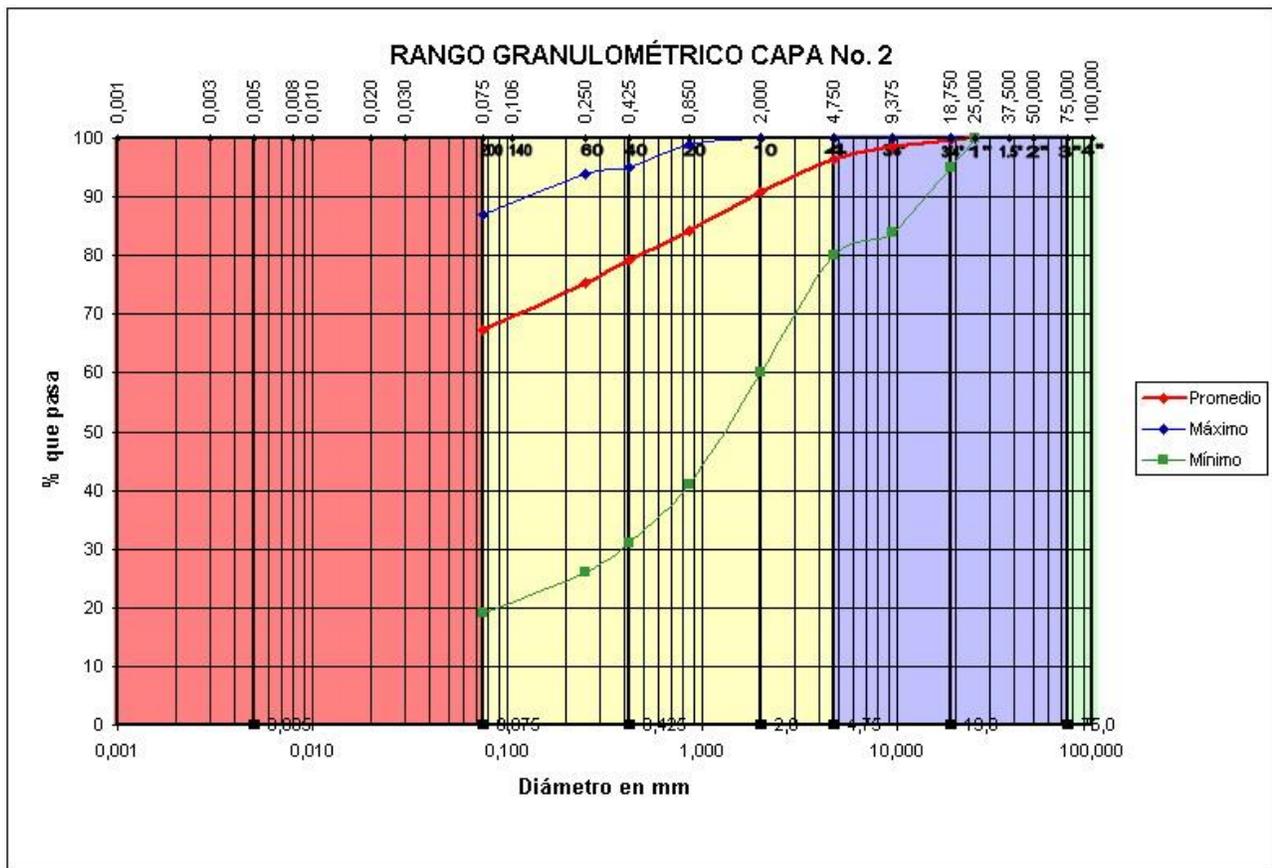
Esta capa debe su origen a la intensa meteorización de la roca subyacente o sea la serpentinita, pero como este fenómeno no se desarrolla de forma uniforme en todo el macizo, es frecuente encontrar bloques de la roca (capa 3) dentro de la misma.

Fino (< tamiz 200)	64 %
Arena	31 %
Grava	5 %
Límite Líquido (LL)	114 %
Límite Plástico (LP)	73 %
Índice Plástico (IP)	41 %
Peso específico de los sólidos (Gs)	28.5 kN/m <sup>3</sup>
Humedad Natural (W)	75.6 %
Peso Específico Húmedo ( $\gamma_f$ )	15.0 kN/m <sup>3</sup>
Peso Específico Seco ( $\gamma_d$ )	8.5 kN/m <sup>3</sup>
Índice de Poros ( e)	2.35
Saturación (S)	92 %
Índice de consistencia	0.94
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	13 <sup>0</sup>
Cohesión (C )	28 kPa
Módulo de deformación (E <sub>50-100</sub> )	8414 kPa
Módulo de deformación (E <sub>100-200</sub> )	12671 kPa
Módulo de deformación (E <sub>200-400</sub> )	17900 kPa
Coefficiente de Poisson*	0.35*



**Tabla 4. Propiedades físico mecánicas de la Capa 2.**

En la figura 12, se observa que este suelo presenta un comportamiento heterogéneo, variando de un suelo limoso (plástico arenoso) hasta arena limosa con grava. Puede presentarse además totalmente fino, de composición limosa con muy poco contenido de arena (inferior al 5 %) y en otras partes con predominio de partículas gravosas, a estos casos corresponden las muestras que aparecen con asteriscos en la tabla, ya que no son las condiciones que más abundan.



% Arena	Fina (%)	Media (%)	Gruesa (%)
29	12	12	5
0,075-4,75 mm	0,075-0,425 mm	0,425-2,00 mm	2,00-4,75 mm
% Gravas	Fina (%)	Gruesa (%)	
4	4	0	
4,75-75 mm	4,75-19 mm	19-75 mm	

% Finos	% Arena	% Gravas	% Gujarrros
67	29	4	0
< 0,075 mm	0,075-4,75 mm	4,75-75 mm	75-300 mm
Clasificación	MH a SM		
NC 59:2000	"Limo plástico arenoso a Arena limosa"		

NOTA: Los Valores corresponden a la Curva Promedio

**Figura 12. Gráfico granulométrico de la Capa 1.**



**Capa 3:** Serpentinita que varía de muy meteorizada a moderadamente meteorizada, de color gris azulado con tonos verdosos y manchas rojas de Oxido de Hierro, de textura granular, de resistencia baja a media en estado natural y de muy baja a baja en estado saturado, muy tectonizada, agrietada y fracturada. La mayoría de las discontinuidades aparecen rellenas de magnesita y otros minerales serpentínicos.

Constituye la base rocosa en toda el área estudiada, aparece subyaciendo la capa 1 ó capa 2, o en la parte superior del corte (véase el mapa ingeniero geológico, Figura 10), cubierta en estos casos por una escasa capa vegetal. Su profundidad de yacencia varía de 0.10 m en la cala 30 hasta 8.55 m en la cala 3, con cotas de 15.30 y 6.54 m respectivamente. Esta capa también aparece en forma de bloques dispersos dentro de la capa 2.

En la Tabla 5 se observa el comportamiento de las propiedades físico mecánicas de la capa 3, aclarando que los testigos recuperados, corresponden a la roca con un grado no tan intenso de fracturación. Los valores promedios de las propiedades son los siguientes:

Peso específico de los sólidos (Gs)	26.6 kN/m <sup>3</sup>
Humedad Natural (W)	3.7 %
Peso Específico Húmedo ( $\gamma_f$ )	23.6 kN/m <sup>3</sup>
Peso Específico Seco ( $\gamma_d$ )	22.8 kN/m <sup>3</sup>
Peso Específico Saturado	24.2 kN/m <sup>3</sup>
Peso Específico Sumergido	14.2 kN/m <sup>3</sup>
Porosidad	14 %
Saturación	59 %
Absorción (A)	2.6 %
Resistencia a la compresión axial seco ( $q_{nat}$ )	11.0 Mpa
Resistencia a la compresión axial sat. ( $q_{sat}$ )	5.3 Mpa
Coeficiente de Ablandamiento	0.48

**Tabla 5. Propiedades físico mecánicas de la Capa 3.**

La porosidad y saturación que presenta la roca indican que es de porosidad media y muy húmeda, el Coeficiente de Ablandamiento obtenido evidencia que la misma se ablanda al sumergirse en agua.

El RQD determinado durante la perforación por lo general es inferior a 10 %, por lo que la roca es de muy mala calidad, debido fundamentalmente al grado de agrietamiento y fracturación que presenta.

A continuación se ofrece el cálculo de la capacidad soportante de forma orientativa a partir de un programa de computación denominado REM basado en la formula de Terzaghi para tensiones totales, tomado de Soil and Foundations, 1992.

Cálculo orientativo de la capacidad soportante de la Capa 1:

Capa 1			
Parámetros de cálculo: $\gamma_f = 1.89 \text{ t/m}^3$ , $\phi = 7^\circ$ $C = 4.7 \text{ t/m}^2$			
Forma del Cimiento: rectangular			
L=12.51 m	L=12.51m	L=12.51m	L=12.51m
B=3.5 m	B=3.5 m	B=3.5 m	B=3.5 m
Df= 1m	Df= 1.5 m	Df= 2.0 m	Df= 2.5 m
$q_{tr}(\text{t/m}^2)=14.76$	$q_{tr}(\text{t/m}^2)=15.51$	$q_{tr}(\text{t/m}^2)=16.27$	$q_{tr}(\text{t/m}^2)=17.03$

**Cálculo orientativo de la capacidad soportante de la Capa 2:**

Capa 2			
Parámetros de cálculo: $\gamma_f = 1.5 \text{ t/m}^3$ , $\phi = 13^\circ$ $C = 3.5 \text{ t/m}^2$			
Forma del Cimiento: rectangular			
L=12.51 m	L=12.51m	L=12.51m	L=12.51m
B=3.5 m	B=3.5 m	B=3.5 m	B=3.5 m
Df= 1m	Df= 1.5 m	Df= 2.0 m	Df= 2.5 m
$q_{tr}(\text{t/m}^2)= 10.60$	$q_{tr}(\text{t/m}^2)= 11.51$	$q_{tr}(\text{t/m}^2)= 12.42$	$q_{tr}(\text{t/m}^2)= 13.33$



### 3.3 Estimación de los asentamientos:

Este método es aplicado utilizando la tensión en el punto medio del estrato y está basado en el cálculo de asentamientos para el punto característico según el Canadian Foundation Engineering Manual, 1985. El cálculo se hace considerando la fórmula siguiente:

$$S = \sigma z_1 \cdot h_i / E_i$$

donde:

Si – Asentamiento del estrato

$\sigma z_1$  – Tensión en el punto

$h_i$  – Potencia del estrato

$E_i$  – Módulo de deformación

Para la Capa 1 teniendo en cuenta la potencia máxima del estrato de 3.10 m , para una tensión en el punto medio del mismo, de 0.73 Kg/cm<sup>2</sup> y un Módulo de Deformación E= 91.15 Kg/cm<sup>2</sup> tendríamos el siguiente resultado:

$$S = 0.73 \text{ kg/cm}^2 \times 310 \text{ cm} / 91.15 \text{ Kg/cm}^2 = 2.48 \text{ cm}$$

Para el caso de la Capa 2, la potencia máxima del estrato es de 7.25 m con una tensión de 0.73 Kg/cm<sup>2</sup> y un Módulo de Deformación E=125.88 Kg/cm<sup>2</sup> el resultado del asentamiento sería como se muestra a continuación:

$$S = 0.73 \text{ Kg/cm}^2 \times 725 \text{ cm} / 125.8 \text{ Kg/cm}^2 = 4.21 \text{ cm}$$

### Cálculo orientativo de la Capacidad soportante de la Capa 3

El cálculo de la capacidad soportante de la Capa 3 se realizó empleando la fórmula:

$q_{br} = K_{sp} \cdot q_u$  que considera el dimensionamiento de las bases de los cimientos apoyados en roca y para este caso en particular rocas con un elevado grado de agrietamiento donde:

$K_{sp} = 0.15$  , este valor se obtuvo a partir de las mediciones del agrietamiento realizadas durante la descripción de los testigos de perforación.  $q_u$  – Resistencia a la compresión simple de cálculo

$$q_{br} = 0.15 \times 6100 \text{ kPa} = 915 \text{ kPa}$$

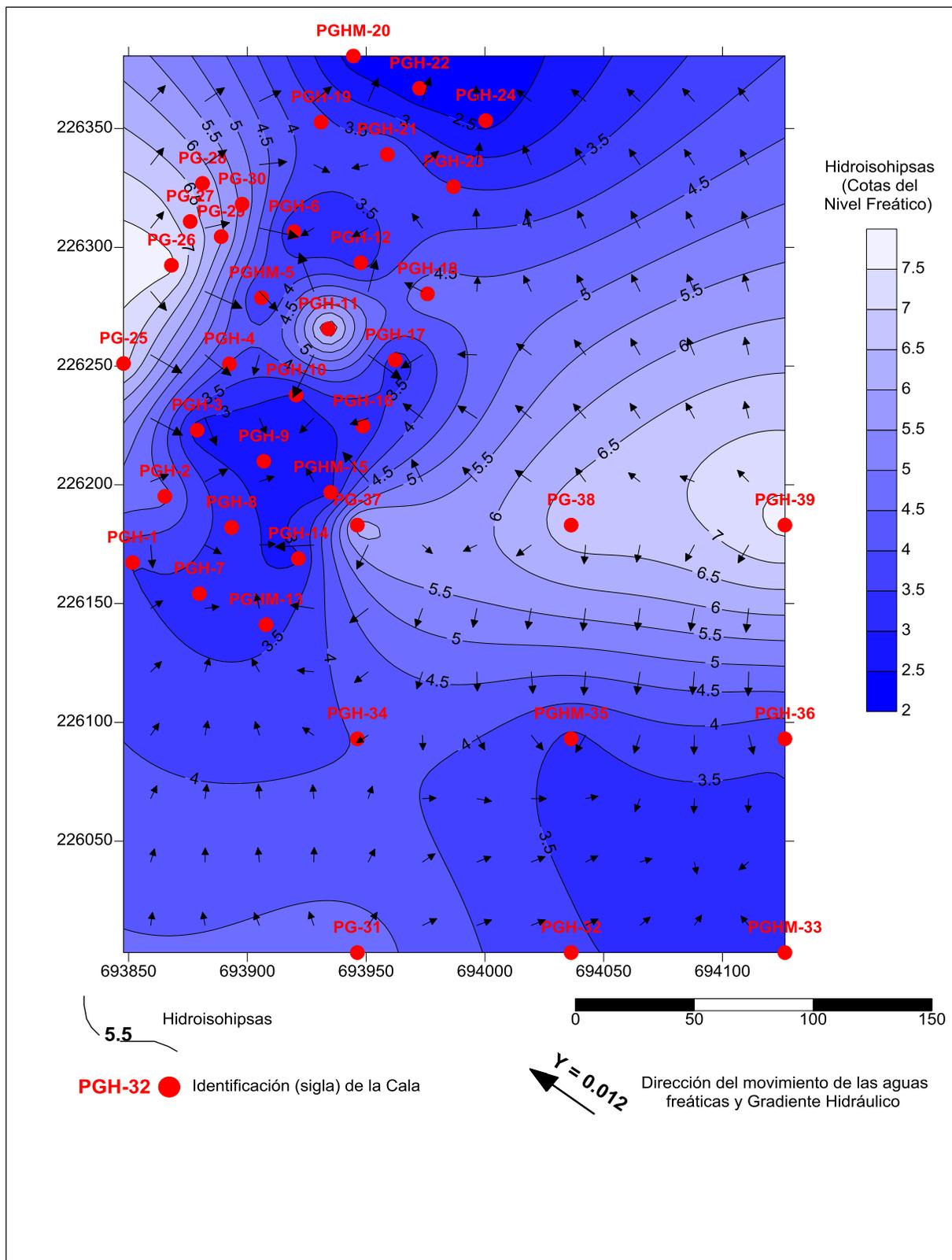


### **3.4 Características hidrogeológicas del área.**

Las aguas subterráneas yacen a profundidades que varían entre 4.31 m (cala 36) hasta 12.54 m (cala 5). Las mismas circulan por los poros y grietas del macizo rocoso formando un acuífero de superficie libre o freática, que forma parte del complejo acuífero de las ofiolitas y se alimentan de la infiltración de las aguas atmosféricas. (Informe ENIA 6)

En el Mapa de Hidrohisohipsas, (Figura 13) se observa que las mayores cotas del nivel freático se presentan localmente en la cala 11, hacia el Noroeste y la zona comprendida por las calas 37, 38 y 39 (SE), puntos de donde el flujo drena hacia diferentes direcciones condicionadas por la presencia de pequeñas vaguadas. El Gradiente Hidráulico varía desde 0.008 hasta 0.10, correspondiendo las máximas pendientes a la zona donde se ubican las calas 11, 26, 29 y 30, o sea con los valores máximos de hidrohisohipsa.

Las mediciones sistemáticas de los niveles freáticos, manifiestan que las mismos oscilan en dependencia de la ocurrencia de la lluvia, luego de fuertes precipitaciones ascienden y viceversa, experimentando variaciones, por lo general menores que 1.0 m.



**Figura 13. Mapa de Hidroisohipsas a escala 1: 2000**

De acuerdo a la Norma Cubana NC 54-310:1985 “Agua. Determinación de su agresividad sobre el hormigón”, no presentan ningún tipo de agresividad.

Para evaluar la permeabilidad de los suelos y rocas presentes se realizaron pruebas hidrogeológicas en calas, consistentes en vertimiento de agua por el método express y cubeteos. Los resultados arrojados se ofrecen a continuación:

Tipo de Prueba	Cala	Intervalo (m)	Kf m/día	No. Capa	Clasificación
Vertimiento	PGH-2	2.00-6.00	0.005	2	Muy poco permeable
Cubeteo	PGH-2	11.66-15.00	1.03	3	Permeable
Vertimiento	PGH-4	0.40-2.80	0.0004	1	Prácticamente impermeable
Cubeteo	PGH-6	11.73-15.00	0.875	3	Semi-permeable
Cubeteo	PGH-7	8.10-15.00	1.61	3	Permeable
Vertimiento	PGHM-13	3.50-8.00	0.134	3	Semi-permeable
Vertimiento	PGHM-15	0.50-4.00	0.0007	1	Prácticamente impermeable
Cubeteo	PGH-18	10.20-15.0	0.148	3	Semi-permeable
Vertimiento	PGH-19	0.70-3.70	0.004	2	Muy poco permeable
Vertimiento	PGH-19	7.00-10.00	0.011	3	Poco permeable
Cubeteo	PGHM-20	9.90-13.00	2.35	3	Permeable
Vertimiento	PGHM-33	1.00-5.00	0.070	3	Poco permeable
Cubeteo	PGHM-33	4.50-6.00	0.095	3	Poco permeable
Vertimiento	PGHM-35	2.00-5.00	0.025	3	Poco permeable
Cubeteo	PGH-36	4.31-6.00	0.370	3	Semi-permeable
Vertimiento	PGH-38	1.00-6.00	0.057	1-2-3	Poco permeable
Vertimiento	PGH-39	2.00-6.00	0.375	3	Semi-permeable
Cubeteo	PGHM-40	6.71-15.00	3.47	3	Permeable

En algunas calas se detectó fuga de agua de la perforación, como son los casos de las calas 6, 11, 12 y 17 lo que indica la presencia de zonas de alta permeabilidad, asociados al grado de agrietamiento y fracturación que presenta la roca.



### **Temperatura del agua**

Con el objetivo de evaluar el posible uso de las aguas en el proceso de enfriamiento de la Central, se midió la temperatura de las aguas subterráneas y de las aguas marinas cercanas a la costa, obteniéndose los siguientes resultados promedios:

Aguas marinas- 35 grados

Aguas subterráneas- 27 grados



# CONCLUSIONES

---

1. En el área de estudio están presentes las rocas de la Asociación Ofiolítica del Mesozoico, representadas en este caso (hasta 15.0 m de profundidad investigada) por serpentinitas con diferentes grados de meteorización, cubiertas por espesores variables de depósitos cuaternarios no rocosos de diversos orígenes.
2. Desde el punto de vista tectónico el área objeto de estudio se encuentra ubicada en el Bloque Cabaña, el que se encuentra cortado por la falla Cananova presentando valores morfométricos diferenciados entre el sub-bloque Norte y Sur, desplazándose según el plano de fractura en dirección noroccidental y formándose cierres de isobasas de carácter muy local hacia el Norte, en la zona de Playa la Vaca. Esta actividad ha traído como consecuencia el intenso agrietamiento y fracturación del macizo rocoso.
3. La zona objeto de estudio puede considerarse como una zona de peligro sísmico, ya que la información tectónica y sismológica existente valida la existencia al N del extremo oriental de Cuba de una zona de origen de terremotos de primer orden (7.5-8.0 grados de magnitud Richter), que es la prolongación hacia el NE de la Falla Norte de la Española. Además existen otras fallas activas, como son Miraflores-Riíto, Cayo Guam, Moa, Camarones, etc. a las que se asocia actividad sísmica de moderada a baja energía.
4. Los fenómenos físico geológicos presentes en el área son: meteorización (el más difundido), la erosión y el empantanamiento.
5. El relieve es ligeramente ondulado con cotas que varían desde 8.0 y 19.0 m. En el centro, centro Sur y Suroeste del área las variaciones del terreno presentan pendientes suaves, inferiores a 5 %, equivalente a 2.9 grados. Hacia el Noreste y Oeste las pendientes aumentan en correspondencia con el comportamiento del relieve hasta alcanzar mas de 11 % equivalente a más de 6 grados.
6. Teniendo en cuenta el comportamiento geotécnico de los tipos litológicos presentes en el área, fueron determinadas 3 capas o elementos ingeniero geológicos:
  - Capa 1: Suelo laterítico redepositado representado por Limo plástico, de color rojo, de consistencia firme a dura, poco compacto, muy húmedo y de origen deluvial. (MH).
  - Capa 2: Limo plástico arenoso, de color carmelita verdoso a amarillento, con manchas rojas de Oxido de Hierro, muy húmeda en partes saturada, de consistencia dura, poco compacta, con densidades secas menores que 10.0 kN/m<sup>3</sup> y es de origen eluvial (saprolita) (MH).
  - Capa 3: Serpentinita de muy meteorizada a moderadamente meteorizada (W5-W3) de color gris azulado con tonos verdosos y manchas rojas de Oxido de Hierro, de resistencia baja a media en estado natural y de muy baja a baja en estado saturado, muy tectonizada, agrietada y fracturada.
7. Los suelos existentes (capas 1 y 2), por el módulo de deformación obtenido clasifican de capacidad media de deformación, pero teniendo en cuenta la alta humedad que presentan, los elevados índices de poros, su alta compresibilidad y la experiencia que se tienen de estos tipos de suelo en el territorio, se consideran deformables ante cualquier carga impuesta.
8. Se realizó el cálculo orientativo de la capacidad soportante para diferentes profundidades en cada una de las capas presentes con los datos generales de la obra que se tienen hasta el momento, obteniéndose valores que sobrepasan la carga a imponer por la misma, sin embargo el



asentamiento que experimentarán los suelos (capas 1 y 2) es mucho mayor que el permisible para el conjunto Motor Generador o sea 0.4 mm.

8. Las aguas subterráneas yacen a profundidades que varían entre 4.31 m hasta 12.54 m, con cotas y cotas absolutas que oscilan entre 2.25 y 7.1 m; y circulan por los poros y grietas del macizo rocoso formando un acuífero de superficie libre o freático, que forma parte del complejo acuífero de las ofiolitas. Son aguas dulces, Bicarbonatadas Magnésicas por su composición iónica, de neutras a algo básicas por el PH, por su Dureza Total son de blandas a algo duras y no presentan agresividad al hormigón.
9. De acuerdo a los coeficientes de filtración obtenidos mediante las pruebas de permeabilidad realizadas las diferentes capas clasifican como:
  - Capa 1: Prácticamente impermeable ( $K_f = 0.0004-0.0007$  m/día).
  - Capa 2: Muy poco permeable ( $K_f = 0.004-0.007$  m/día).
  - Capa 3: De poco permeable a permeable ( $K_f = 0.011-3.47$  m/día).
10. Fue posible el desmembramiento del Corte Geológico general presente en el área de estudio asociado a un Corte Geoelectrico multicapa con valores de Resistividad en un amplio rango que se extiende desde 5 a más de 800  $\Omega$ -m caracterizando los diferentes litotipos presentes en la zona de emplazamiento de la obra. Por lo general ocurre un aumento gradual de la Resistividad con la profundidad.
11. Las tomas a tierra deben ser emplazadas en la capa 2 (correspondiente a la capa 2 de geotecnia), por ser esta la de menor resistividad obtenida y teniendo en cuenta el alto grado de humedad que presenta este suelo, el Factor de sequedad del terreno es de 1.8.
12. Las velocidades sísmicas obtenidas  $V_p$  definen que las litologías presentes son ripables o de ripado fácil, por lo que no requieren el uso de explosivos para ser excavados.
13. Para satisfacer los volúmenes necesarios de material de construcción para rellenos o compensación y rehinchos, se caracterizaron 2 áreas de cantera: Playa la Vaca situada a 250.0 m al Sur del área y Subestación, adyacente al área de este objeto de obra. El material de ambas canteras clasifica en el grupo A-1-a, con un comportamiento de excelente a bueno como subrasante. El volumen total estimado para ambas canteras asciende a 46769 m<sup>3</sup>, pero existen reservas suficientes para satisfacer la demanda de este tipo de material que exige la obra

# RECOMENDACIONES

---

1. Como fue expresado en las conclusiones los cálculos de la capacidad soportante son orientativos, por lo que se recomienda realizar el diseño de la cimentación por los criterios de deformación y estabilidad considerando las cargas actuantes y las propiedades de resistencia y compresibilidad de los suelos.
2. Utilizar diseños antisísmicos para el proyecto de la obra, sugiriéndose la realización de estudios de microzonación sísmica del área de emplazamiento con el objetivo de determinar con exactitud el peligro, la vulnerabilidad y riesgo sísmico.
3. De llegar a utilizarse las aguas subterráneas en el funcionamiento de la Central, deben tomarse medidas encaminadas al uso racional de las mismas, para evitar el abatimiento de los niveles freáticos e impedir así que se produzca el fenómeno de intrusión salina.
4. Diseñar un sistema de drenaje que garantice el escurrimiento superficial de las aguas.
5. Para el movimiento de tierra se propone utilizar el material de las canteras Playa la Vaca y Sub estación, para lo cual se hacen las siguientes recomendaciones:
  - Desechar fragmentos mayores de 2/3 del espesor de la capa a compactar.
  - Realización de terraplenes de prueba previo al inicio de los trabajos para ajustar parámetros como: espesor de capa, humedad de trabajo, el # de pases del compactador, la velocidad de compactación, etc, optimizando así la ejecución de los trabajos.
  - Control permanente de la compactación, con el chequeo diario de la humedad del material a colocar.
6. Teniendo en cuenta que las características del material rocoso presente en el área de emplazamiento (capa 3) presenta características similares al de las canteras estudiadas, en caso de ser cortado por el movimiento de tierra puede ser utilizado como material de construcción (para rellenos y rehinchos), debiéndose caracterizar geotécnicamente para determinar sus parámetros de compactación.
7. Para el avance en la explotación de las canteras y el aprovechamiento óptimo de las reservas, debe preverse la utilización de explosivos, con patrón de voladura capaz de garantizar la granulometría adecuada.

# BIBLIOGRAFÍAS

---

- Adamovich A. y V. Chejovich. 1964. Principales características de la geología y minerales útiles de la región norte de la provincia de oriente. *Revista Tecnológica*. 2:14-20.
- Adamovich y Chejovich, 1964; Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Blanco y Proenza, 1993; Iturralde-Vinent, 1996),
- Aguirre Jaime, Armando 1994. Introducción al tratamiento de series temporales. Aplicación a las Ciencias de la Salud. Ediciones Díaz de Santos, Madrid. P. 209
- Almaguer, Y. 2005. Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 108p.
- Almaguer, Y. 2005. Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 108p.
- Almaguer, Y. y R. Guardado. 2006. Tipología de movimientos de masas en cortezas lateríticas residuales del territorio de Moa. Cuba. *Minería y Geología* [en línea] Vol. 1, No. 1. <http://ismm.edu.cu/revistamg/v1-n1-2006/art1-1-2006.pdf> [consulta: 20 marzo. 2009] ISSN 0258 5979.
- ASTM (Annual Book of ASTM Standards) (1993). Section 4. Construction. Volume 04.08. Soil and rock. Dimension stone; geosynthetics. 1296 p.
- Batista, J. 1998. Caracterización geológica y estructural de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1: 50 000. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis de maestría) 79p.
- Blanco, J y J. Proenza. 1993. Terrenos tectono-estratigráficos en Cuba Oriental. *Revista Minería y Geología*, 3.
- Brand N.W., Butt C.R.M., Elias M. (1998). Nickel laterites: Classification and features. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 81-88.

- Campos, M. 1983. Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Minería y Geología*, 2: 51-76.
- Carmenate, J. A. 1996. Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas para la zonificación de los fenómenos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa. (Tesis de maestría). Departamento de geología, ISMM. 108 p.
- Carmenate, J.A. y A.B. Riverón. 1999. Zonificación de los fenómenos geológicos que generan peligros y riesgos en la ciudad de Moa. *Minería Y Geología*. 16 (2): 21-31.
- Carmenate J. 2006. Influencia de la interfaz agua-aire en la estabilidad de taludes de los suelos lateríticos in situ de la región de Moa. Tesina de DEA.
- Casañas X. 2009. Recursos Minerales sólidos. En: Geología de Cuba para todos. Pág: 110-124. Editorial Científica Técnica.
- CENAI, 2002. Informe sobre la situación sismológica del Nordeste de la Provincia de Holguín, las acciones llevadas a cabo por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas para reducir el riesgo sísmico en las instalaciones de níquel y propuesta de estrategia para enfrentar los estudios de riesgos sísmicos en la industria de níquel.
- Cotilla, M.O.; H.J. Franzke y D. Cordoba. 2007. Seismicity and seismoactive faults of Cuba. *Russian Geology and Geophysic*. 48: 505–522.
- Chuy, T. J. 2003. Macrosísmica de Cuba: su aplicación en los estimados de peligrosidad sísmica. *Minería y Geología*. (1-2): 43-50.
- Chuy, T; L, Sierra Y Marissy, J. 1994. Caracterización de la potencialidad sísmica de la zona de Moa. *Minería y Geología*. 11(1): 54-56.
- Cobiella, J.L. 1978. Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 210 p.
- Colectivo de autores, 2010. Informe de Investigación de detalle para la construcción de planta Ferroníquel Minera SA. (Cortesía Quality Cuba SA)

- Chuy, T. J. 2003. Macrosísmica de Cuba: su aplicación en los estimados de peligrosidad sísmica. *Minería y Geología*. (1-2): 43-50.
- Chuy, T; L, Sierra Y Marissy, J. 1994. Caracterización de la potencialidad sísmica de la zona de Moa. *Minería y Geología*. 11(1): 54-56.
- De Miguel F. C. (1999). Hidrogeología Aplicada. Edit. Félix Varela, La Habana.
- De Miguel F. C. (2004). Informe hidrogeológico conclusivo sobre: Investigaciones Ingeniero-geológicas e hidrogeológicas del yacimiento Punta Gorda. (Informe Técnico).ISMM, Moa.
- Fonseca, E.; V.N. Zelepugin y M. Heredia. 1985. Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19: 321-329.
- Guardado, R.; A. Kempena Y A. Martínez. 2000. Cartografía y evaluación del impacto geoambiental a través de un sistema de información geográfica. *Minería y Geología*. 17 (3-4): 23-31.
- González, B. E. y L. D. Pérez. 2003. Utilización de los datos ingeniero-geológicos, hidrogeológicos y tectónicos en la microzonación sísmica de áreas de objetivos económicos importantes. V Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. La Habana, Cuba. 24-28 de Marzo. (Memorias).
- González de Vallejo, L. I. (2002). Investigaciones in situ en Ingeniería Geológica. 715 Págs. ISBN: 84-205-3104-9. Pearson Educación, Madrid
- Informe de Investigación para la construcción de la Planta Ferroníquel Minera SA. (Cortesía Quality Cuba SA) 2010
- Iturralde-Vinent, M. A. 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispana*, 33(1-4): 9-56.
- Iturralde-Vinent, M. A. 1996. Geología de las ofiolitas de Cuba. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, p. 83-120.
- Noas, J. L. y T L. Chuy. 2005. Caracterización de la amenaza sísmica de la ciudad de Moa, provincia Holguín. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos

- Pérez, A. M. y S. Santana. 1977. Investigación ingeniero geológica. Objetivo 761. Conductora Moa. Centro de Investigaciones Ingeniero Geológicas F.A.R. 85p. Proenza J. 1997. Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento merceditas. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 227p.
- Proenza, J.; F. Gervilla; J.C. Melgarejo y J.L. Bodinier. 1999. Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94: 547-566.
- Quintas F. 1989. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 161p.
- Riverón A.B., 1996: "Caracterización de la respuesta dinámica de los suelos en la ciudad de Moa". ISMMM, Departamento de Geología. Tesis de Maestría.
- Rodríguez R. 2002. Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa (Cuba): influencia del comportamiento hidromecánico. PhD Thesis, University Polytechnic of Catalonia (UPC), Barcelona, España: 1-465. Publicada en <http://www.tdcat.cesca.es/TDCat-0731102-084652/>
- Rodríguez, A. 1998. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 137p.
- Rodríguez, A. 1998a. Estilo tectónico y geodinámico de la región de Moa. *Minería y Geología*, 15(2): 37-41.
- Rodríguez, A. 1998b. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 137p.
- Rodríguez, R. 2000. Estudio petrológico de las rocas de afinidad ofiolítica portadoras de ilmenita en la zona de Cayo Grande en el macizo Moa-Baracoa. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis master) 69p.

- Rodríguez, A. y J. Blanco. 2001. Fallas de deslizamiento por el rumbo en la región de Moa. *Minería y Geología* [en línea] Vol. 18, No. 1. <http://ismm.edu.cu/sites/revistamg/v18-n1-2001/art4-1-2001.pdf> [consulta: 24 feb. 2009] ISSN 0258 5979.
- Rodríguez, A. 2001. Peligro sismotectónico en la región de Moa. IV Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. La Habana, Cuba, 19-23 de marzo. (Memorias), 32-41.
- Terrero, A.C. 1986. Caracterización de las condiciones hidrogeológicas de la provincia de Holguín. *Minería y Geología*, Ciudad de La Habana, Cuba 2: 19-29.
- Vega M. N. e I. Y. Ríos. 2005. Caracterización sismotectónica de la zona sismogeneradora Sabana del Norte de Cuba Oriental. VI Congreso de Geología. La Habana, Cuba, 5-8 de abril. (Memorias).
- Zapata, J. A. 2003. Microzonación sísmica y respuesta dinámica de suelos de la ciudad de Guantánamo y sus alrededores para planeamiento urbano. V Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. La Habana, Cuba. 24-28 de Marzo. (Memorias).