



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

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO.**

**PRINCIPALES RASGOS GEOLÓGICO Y GEOFÍSICO DE LOS CUERPOS  
DE ARENA DEL PALEOCAUCE DEL RÍO CHAMBA V CON VISTA A SU  
ASIMILACIÓN COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.**

**Diplomante: Yusleimy González Remesal**

**Tutores: Ing. Rodolfo Morell Cosío.  
Dr. Roberto Díaz Martínez.**

**Julio 2005**

## PENSAMIENTO

“El néctar de la victoria solo se bebe en la copa del sacrificio”.

Ché

“El buen Revolucionario no mira de que parte se vive mejor sino de que parte está el deber”.

Ché

“Mientras quede en América, o tal vez mientras quede en el mundo un agravio que deshacer, una injusticia que reparar, la Revolución cubana no puede detenerse, debe seguir adelante y debe sentir en sí todos los males de este pueblo oprimido en que no ha tocado vivir, debe ser suyos los sufrimientos de pueblos que como el nuestro, hace pocos años levantan la bandera de la libertad”.

Ché.

## AGRADECIMIENTO

A mis tutores

Por su apoyo desinteresado.

A mi familia

Por su apoyo incondicional.

A Esmel

Porque sin ser mi padre supo enfrentar junto a mi madre los retos de mi carrera.

A Alfredo

Porque más que amigo su apoyo a sido como el de un padre.

A mi pareja

Por su ayuda constante y su apoyo psicológico.

A la Revolución y a nuestro Comandante en Jefe

Por quién estoy decidida a dar mi mayor esfuerzo sin medir el sacrificio que requiera mi  
carrera.

A todos los que hicieron posible este trabajo.

## DEDICATORIA

A mis padres

Porque sin su ayuda y su apoyo no hubiese sido posible ver mi sueño hecho realidad.

A mi familia

Porque todos pusieron un granito de arena en mi formación.

A nuestro Comandante en Jefe y a la Revolución

Porque somos formados por su ejemplo y sus ideales martianos.

## **Resumen**

La arena es un constituyente importante de muchos suelos y es muy abundante como depósito superficial a lo largo de los cursos de muchos ríos, juega un papel muy importante en la producción de piedras artificiales (hormigón fraguado), pues en su composición más del 85% del peso de tales materiales corresponden a estas, sin embargo en la provincia de Ciego de Ávila existe un déficit de este elemento a partir de la inutilidad por inundación del yacimiento Chambas IV. De ahí que el presente trabajo tiene como propósito establecer la caracterización geológica y geofísica de los cuerpos de arena del yacimiento de arena aluvial Chamba y sus perspectivas de utilización. El mismo se llevó a cabo para dar respuesta a la tarea técnica emitida por la Empresa Materiales de la Construcción de Ciego de Ávila, colectivo junto al cual se realizó esta investigación; en el mismo se aplicaron levantamientos geológicos, topográficos y geofísicos. Como resultado se caracterizó y evaluó para su posterior utilización en la producción de materiales de construcción el yacimiento detectado a un lado oriental del Río Chambas.

## **Abstract**

The sand is an important constituent of many lands and it is very abundant as superficial deposit along the courses of many rivers, it plays a very important role in the production of artificial stones (forged concrete), because in its composition more than 85% of the weight of such materials correspond to these, however in Ciego de Ávila province a deficit of this element exists starting from the uselessness for flood of the location Chambas IV. With the result that the present work has as purpose to establish the geologic and geophysics of characterization, of the location of chambas alluvial sand and its use perspectives of using. This one carried out to give answer to the technical task emitted by the Material Company of the Construction of Ciego de Ávila, this investigation was carried out by that staff; in the same one geologic, topographical and geophysical risings were applied. As a result we characterized and evaluated for their later use in the production of construction materials the location detected to an oriental side of the River Chambas.

## ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo I. Características físicas-geográficas y marco geológico regional y local del yacimiento de arena aluvial Chambas V	
1.1. Características físicas-geográficas de la región.....	5
1.1.1. Ubicación geográfica.....	5
1.1.2. Relieve, hidrografía y clima.....	5
1.1.3. Economía de la región.....	6
1.2. Marco geológico regional.....	7
1.3. Marco geológico local.....	13
1.3.1. Estratigrafía.....	13
1.3.2. Geología local.....	18
1.3.2.1. Modelo de drenaje.....	19
1.3.2.2. Factores que controlan la sedimentación aluvial.....	21
1.3.2.3. Clasificación de las facies fluviales.....	24
1.3.2.4. Sistema aluvial Braided.....	26
1.3.2.5. Sistema aluvial Braided en arena.....	27
1.4. Factores que argumentan la selección del área.....	30
Capítulo II. Metodología y volumen de los trabajos proyectados.	
2.1. Introducción.....	32
2.2. Trabajos de campo.....	33
2.2.1. Itinerarios geológicos.....	34
2.2.2. Trabajos topográficos.....	34
2.2.3. Trabajos geofísicos.....	36
2.2.3.1. Magnetometría.....	36
2.2.3.2. Perfilaje Eléctrico Simétrico.....	37
2.2.4. Trabajos de perforación.....	42
2.2.5. Muestreo.....	42
2.3. Trabajo de laboratorio.....	42
2.3.1. Análisis granulométrico.....	44
2.3.2. Análisis químico.....	45
2.3.3. Análisis mineralógico.....	46
2.4. Trabajos de gabinete.....	46
2.4 1. Procesamiento de la información.....	46
Capítulo III. Interpretación de los resultados obtenidos	
3.1. Introducción.....	48
3.2. Interpretación de los resultados de campo.....	48
3.2.1. Interpretación de los itinerarios geológicos.....	48
3.2.2. Interpretación de los trabajos geofísicos.....	48
3.2.2.1. Interpretación magnética.....	49
3.2.2.2. Interpretación Perfilaje Eléctrico Simétrico.....	49
3.2.3. Interpretación de los trabajos de perforación en la etapa de	51

Exploración Primaria.....	
3.2.4. Interpretación de los trabajos de perforación en la etapa de	52
Exploración Detallada.....	
3.3. Resultados de los análisis granulométrico.....	53
3.4. Resultados de los análisis químico.....	56
3.5. Resultados de los análisis mineralógico.....	56
Conclusiones.....	59
Recomendaciones.....	61
Bibliografía.....	62
Anexos	

## INTRODUCCIÓN

En el territorio cubano se conocen varios yacimientos de arenas, pero la mayoría de ellos son pequeños, de origen aluvial. Ello se debe como se conoce, a que los ríos de Cuba son de poco curso y escaso caudal como consecuencia directa de la topografía de cadenas estrechas y alargadas que se extienden en dirección general E-W, así como a la forma de nuestra isla.

**Un río es una corriente de agua en movimiento continuo desde una zona alta a otra más baja. Esta agua discurre por un camino llamado cauce o lecho, que con el tiempo puede llegar a hacerse más profundo y ancho. Los ríos van horadando poco a poco el terreno por el que pasan, y forman valles fluviales: son como grandes surcos, de distintas anchuras, que ha modelado el agua del río sobre la roca con el paso de millones de años. Casi todos los ríos nacen en las montañas y descienden hasta el mar o un lago, donde vierten sus aguas. Todos los ríos constan de una corriente tanto de agua como de sedimentos (materiales procedentes de rocas y productos orgánicos cuyo tamaño varía desde finas partículas arcillosas hasta enormes cantos rodados). De este modo, el relieve que genera un río concreto depende no sólo de las características de la corriente, en especial de su caudal de su distribución en el tiempo y de la energía, sino también de la cantidad y tamaño de los sedimentos que arrastre.**

De acuerdo con la clasificación genética de los yacimientos minerales, todos los de arenas son de tipo exógeno, formaciones detríticas y sedimentarias subdividiéndose en: eluviales, deluviales, proluviales, aluviales, etc. En este caso el yacimiento de arena es de origen aluvial.

Los depósitos aluviales se forman como resultado de la actividad de los ríos y están ampliamente distribuidos. Por sus condiciones de yacencia y los índices morfológicos, se reconocen las deposiciones aluviales contemporáneas y las antiguas; entre las contemporáneas se distinguen tres tipos en dependencia del tamaño del grano, vinculado a las características del curso de las aguas. Las deposiciones contemporáneas se relacionan con los cauces de los ríos y sus accidentes, forman terrazas y se concentran también en los deltas. Las formaciones aluviales antiguas yacen en terrazas enterradas. Para los depósitos

aluviales son característicos los cuerpos planos y en forma de lentes. En el plano ellos tienen una forma alargada en la dirección del curso de agua y en un perfil vertical se puede apreciar su composición con capas interdigitadas y una gradación normal con cantos y granos en su parte inferior. Dentro de las capas de arena frecuentemente se encuentran arcillas, aleuritas y gravas. Las formaciones aluviales se utilizan en una escala muy amplia en la industria. Según José D. Ariosa, 1984.

La arena es un constituyente importante de muchos suelos y es muy abundante como depósito superficial a lo largo de los cursos de muchos ríos, en las orillas de lagos, en las costas y en las regiones áridas. Un tipo particular de arena es el ingrediente principal en la fabricación de vidrio. Otras clases se utilizan en fundición para hacer moldes o para fabricar cerámicas, yesos y cementos. La arena se usa como abrasivo moledor y pulidor bajo la forma de papel de lija, hoja de papel con una de sus caras cubierta de arena o de una sustancia abrasiva similar. La utilización de chorros de arena, impulsados por aire o vapor a presión, es una técnica importante en la limpieza de la piedra o en el pulido de superficies metálicas rugosas.

Por su composición mineral, las arenas pueden ser monominerales cuando el contenido de cuarzo es mayor de 80% y la sílice total es de 90% como mínimo; pero ellas, generalmente, poseen una composición mezclada entre dos o más minerales. El mineral más importante en las arenas es el cuarzo y además están presentes en ellas feldespatos, micas, arcillas, partículas de calizas y material ferroso, partículas de rocas y a veces esqueletos de organismos muertos.

La utilización de las arenas en la producción y la industria se fundamenta en las diferentes propiedades físicas y químicas que posee;

1. Arenas como material inerte; esta materia prima se somete solo a la acción térmica o mecánica sin experimentar transformaciones de tipo químico, estas se emplean para la producción de materiales de construcción (ladrillos, morteros, materiales asfálticos, materia prima para obras viales, etc.). Estas arenas también se aprovechan en la industria de la fundición.
2. Arenas que se utilizan como materia prima a través del tratamiento químico, con la finalidad de obtener otros productos tales como vidrio, ferrosilicio, vidrio líquido. En

tales casos la calidad de las arenas se determina por su composición química, contenido de sílice y de impurezas dañinas, entre las cuales se conocen los óxidos de hierro y titanio, alúmina, calcio, magnesio y anhídrido fosfórico.

3. Arenas utilizadas como material abrasivo para la pulverización, limpieza y pulido de las rocas.

**Un papel muy importante lo tienen las arenas en la producción de piedras artificiales (hormigón fraguado), pues en su composición del 85 al 90% del peso de tales materiales corresponden a las arenas, sin embargo en la provincia de Ciego de Ávila existe un déficit de este elemento a partir de la inutilidad por inundación del yacimiento Chambas IV, por lo que bajo esta situación se propone el siguiente problema:**

- La Empresa de Materiales de Construcción de Ciego de Ávila tiene déficit en los volúmenes de arenas para su explotación, por lo que se hace necesario urgentemente detectar nuevos cuerpos y su caracterización para su asimilación industrial.

Hacia su solución se encamina el siguiente trabajo, de modo que se toma como **objeto de trabajo** a un sector de la parte oriental de la llanura aluvial del río Chambas.

Partiendo de esta problemática se proyecta el siguiente **objetivo**:

- Establecer la caracterización geológica y geofísica de los cuerpos de arena y sus perspectivas de utilización.

Como **hipótesis** se plantea que:

Si se realiza la caracterización geológica y geofísica de los cuerpos de arena del paleocauce del río Chamba podemos definir el uso industrial de los mismos en la obtención de materiales de la construcción.

Los **resultados que se persiguen** son los siguientes:

- Caracterización geológica y geofísica del yacimiento de arena aluvial del Río Chambas en la provincia de Ciego de Ávila.
- Caracterización mineralógica, química y granulométrica del yacimiento de arena aluvial Chamba.
- Evaluación de la arena según las normas y especificaciones de calidad para su posterior uso como materia prima de los materiales de construcción.

**CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL DEL YACIMIENTO DE ARENA ALUVIAL CHAMBAS. PROVINCIA CIEGO DE AVILA.**

**1.1. Características físico - geográficas de la región.**

**1.1.1. Ubicación geográfica.**

La zona de estudio se encuentra ubicada al NW de la provincia de Ciego de Ávila, en el municipio de Chambas, hoja topográfica 4482-IV, a escala 1: 50 000. Las coordenadas de su centro son las siguientes: (ver anexo # 1).

Zona

X <sub>1</sub>	716 820	Y <sub>1</sub>	265 880
X <sub>2</sub>	717 000	Y <sub>2</sub>	266 530
X <sub>3</sub>	717 860	Y <sub>3</sub>	267 120
X <sub>4</sub>	718 080	Y <sub>4</sub>	267 460
X <sub>5</sub>	719 100	Y <sub>5</sub>	266 440
X <sub>6</sub>	717 690	Y <sub>6</sub>	265 040

**El centro se halla a 1.6 Km. al NNE de la planta de beneficio de la arena. El terreno es de propiedad estatal y esta dedicado en su mayor parte al cultivo de la caña de azúcar y ocupa un área de 2.80 km<sup>2</sup>.**

**1.1.2. Relieve, hidrografía y clima.**

La zona tiene un relieve muy llano; al norte se destacan las elevaciones de Punta Alegre y hacia el sur, la Sierra de Jatibonico, formando la misma una especie de valle. Según Pérez N. y otros.2000.

El clima es propio de zonas tropicales. La temperatura media del aire es de 24,2°C. Durante los meses fríos de Enero y Febrero las temperaturas bajan hasta 21,7°C, y durante los meses calurosos de Julio a Agosto suben hasta 31,50°C. Según datos obtenidos por la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos en la Estación Hidrometeorológica de Violeta.

La red hidrográfica es muy notable en la región y esta representada por los ríos: Chambas, Jatibonico del Sur, Calvario, etc.; existe además, una red de arroyos intermitentes los cuales drenan sus aguas hacia la costa norte. En la zona existen innumerables canales para la irrigación de las plantaciones, aspecto este que ha afectado la extracción de más de 800 000 m<sup>3</sup> de arena, delimitadas por investigaciones anteriores (Según González H y otros, 1975 y Pérez N. y otros, 2000.). Este elemento dificulta proyectar trabajos de prospección en el sector occidental de la orilla del río.

### ***1.1.3. Economía de la región.***

La actividad económica de la región está vinculada con el cultivo de la caña de azúcar, así como las plantas procesadoras de la dulce gramínea tales como los centrales Enrique J. Varona y Máximo Gómez. Existen además algunas instalaciones procesadoras de áridos para la construcción y la planta beneficiadora de arena Van Troy (Según González H y otros, 1975 y Pérez N. y otros, 2000.).

## 1.2. Marco geológico regional.

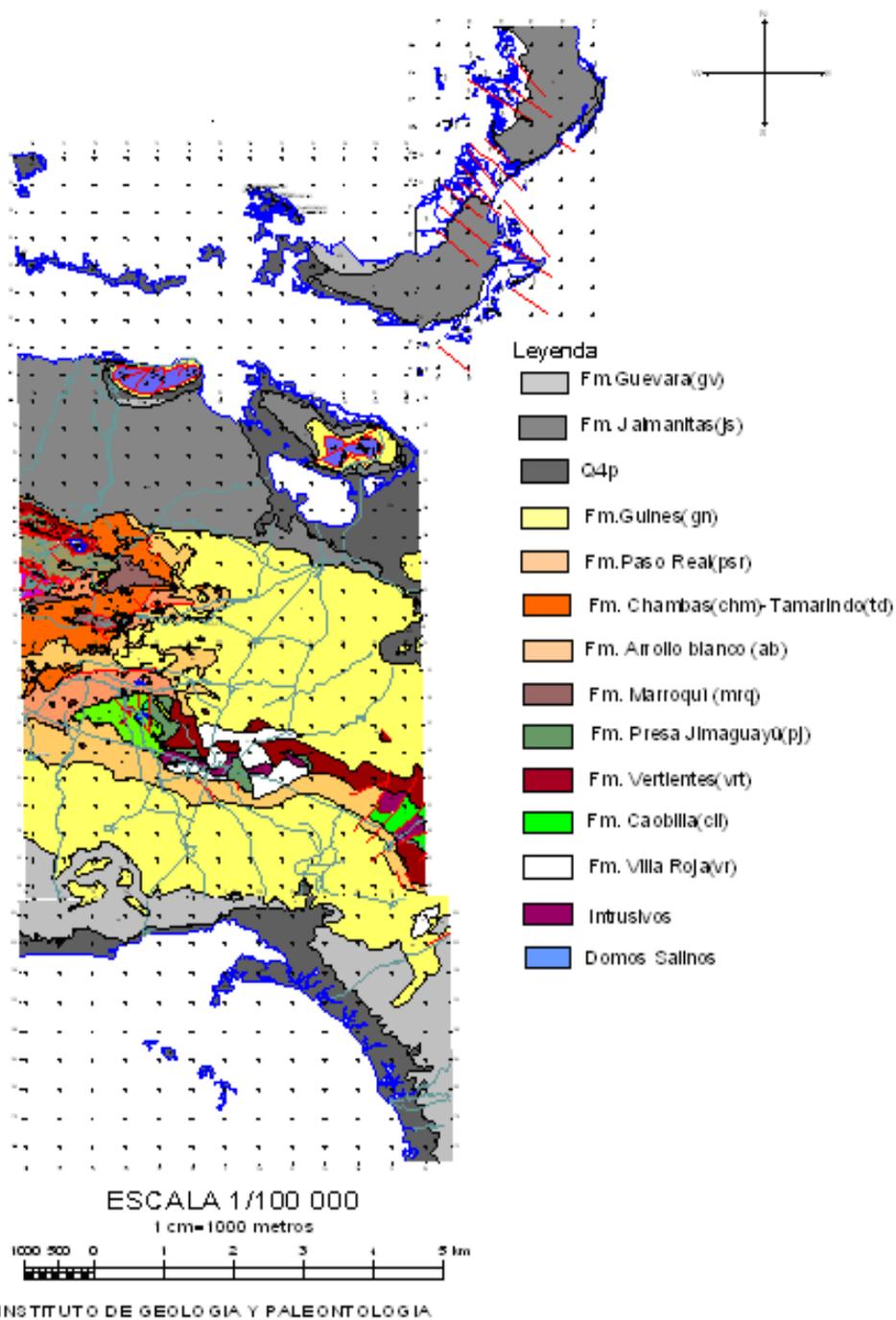


Fig. #1 Mapa geológico de Ciego de Ávila. Según Mapa de la República de Cuba 1:100 000.

Desde el punto de vista regional, el territorio cubano es considerado geológicamente en un sentido amplio, como un cinturón plegado y fallado, obducido y acresionado sobre el margen pasivo de Norteamérica, con el desarrollo de cuencas contemporáneas en el período comprendido entre el Cretácico Campaniano Superior y el Eoceno Superior, cubierto por una secuencia sedimentaria oligomiocénica poco deformada (Jesús Blanco, 1999).

En este contexto geológico, en la provincia Ciego de Ávila, territorio en el que se enmarca el área de estudio, se reconocen unidades pertenecientes a los dos niveles estructurales principales en los que se divide el modelo geológico generalizado de Cuba (Iturralde-Vinent, 1997): substrato plegado y neoa autóctono.

El substrato plegado en dicho territorio está constituido por distintos tipos de terrenos de naturaleza continental y oceánica. Dentro de los grupos rocosos de naturaleza continental, acogiendo el concepto de Asociación Estructuro Formacional (AEF) del Dr. Félix Quintas Caballero, se encuentran las secuencias pertenecientes a la AEF del Protogolfo de México y más específicamente a la Sub-AEF del Paleomargen de Bahamas. Estas aparecen en las zonas de Turiguanó, Punta Alegre y Loma de Cunagüa, a modo de rocas evaporíticas de edad Jurásico Superior, probablemente del Oxfordiano al Kimmeriano, las cuales se depositaron según Iturralde-Vinent, 1994 en una cuenca hipersalina en el lugar que hoy ocupan las Bahamas, reflejando en sus características los cambios ocurridos en Pangea, actualmente las mismas conforman los diapiros salinos presentes en dichas localidades. También integrando los terrenos de naturaleza continental se hallan aunque sin aflorar, las rocas carbonatadas de edad Aptiano al Maastrichtiano de la Zona Cayo Coco, referentes a la AEF de la Paleoplataforma de Bahamas y más específicamente a la Sub-AEF del Graben del Shelf, las mismas se depositaron en uno de los canales que subdividía a la antigua Plataforma de Bahamas.

Entre los elementos geológicos de naturaleza oceánica que se manifiestan dentro del territorio de Ciego de Ávila se hallan las rocas correspondientes a las ofiolitas septentrionales, las cuales son de edad Triásico Tardío al Cretácico más temprano y pertenecen a la AEF del Protogolfo de México. Este complejo litológico constituye fragmentos de una litosfera oceánica antigua relacionada con la corteza antigua del Caribe, generada a partir del proceso de riftogénia de Pangea. Estas rocas nacionalmente afloran

como una serie de cuerpos alargados en la mitad septentrional de la Isla de Cuba, formando mantos tabulares muy desmembrados, donde las rocas están intensamente deformadas y alcanzan hasta 6 Km de espesor (Iturralde-Vinent, 1996).

Localizándose principalmente hacia la parte central y nor-occidental del territorio, se hallan las rocas correspondientes a la AEF de los Paleoarcos y más específicamente a la Sub-AEF del Arco de Isla Volcánico del Cretácico. Esta unidad es propia de un antiguo archipiélago de islas volcánicas que se desarrollo entre el Cretácico Inferior Albiano y el Cretácico Superior Campaniano. Según Iturralde-Vinent, 1996 en la región las rocas referentes a este complejo yacen en contacto tectónico con las ofiolitas septentrionales, encontrándose hacia la zona de contacto con estas, más deformadas, generalmente trituradas hasta brechas. A menudo los contactos coinciden con zonas fisuradas y foliadas, o con masas caóticas que contienen una mezcla de bloques de ofiolitas, vulcanitas y plutónitas del arco. De modo general en la provincia se reconocen elementos característicos de los complejos vulcanógeno-sedimentario y plutónico.

**El complejo vulcanógeno-sedimentario se relaciona con las rocas efusivas, piroclásticas y sedimentarias que se forman en las islas volcánicas y en los mares que la rodean (Iturralde-Vinent, 1996). Las mismas están representadas esencialmente hacia la porción central por las secuencias vulcano-sedimentarias de la Formación Durán y el Miembro San Mateo, además de las secuencias vulcanógenas de la Formación Caobilla, con más amplia difusión que las anteriores. En esta predominan las variedades ácidas encontrándose dacitas, riocacitas y riolitas, hallándose ocasionalmente entre las dacitas traquidacitas. Las variedades medias incluyen andesitas de amplia difusión lateral y vertical, pero son poco significativas de acuerdo al volumen de la unidad, también se reportan tobas de composición andesito-dacítica y calizas de grano mediano. Hacia el borde nor-occidental del territorio este complejo se asocia a las diabasas y basaltos de la Formación Zurrapandilla y a las tobas, lavas y lavobrechas aglomeráticas de composición andesítico-basáltica de la Formación La Rana.**

**A partir de las características litológicas de las secuencias pertenecientes a este complejo, de modo general las mismas se pueden agrupar en el conjunto de rocas**

**formadas en la cuenca axial del arco, donde es común la presencia de lavas, sills y cuerpos sub-volcánicos que se intercalan con tobas, tufitas y rocas sedimentarias, siendo la presencia de este conjunto aceptada y registrada en la provincia por numerosos autores y especialistas (Iturralde-Vinent, 1996).**

Las rocas efusivo-sedimentarias del archipiélago volcánico están a menudo atravesadas por plutonitas de composición variada que conforman el complejo plutónico de este arco de isla y constituyen el eje magmático de el mismo. Estas rocas forman parte de un mismo complejo plutónico que se extiende a lo largo de unos 400 km entre Cumanayagua (suroeste de Santa Clara) y Buenaventura al suroeste de Holguín. En buena parte de la literatura publicada hasta el presente estos afloramientos se describen como plutones aislados, pero lo cierto es que desde el punto de vista de su composición, su reflejo en los campos físicos (magnético, gravimétrico y aerogamma espectrométrico) y los datos de cartografía geológica y perforación, se puede asegurar que se trata de un mismo plutón. El hecho de que en la actualidad aparezcan como exposiciones aisladas, aparentemente incorrectas, es debido a que su techo está distintamente erosionado y/o en parte cubierto por sedimentos más jóvenes (Iturralde-Vinent, 1996). En Ciego de Ávila las rocas del complejo plutónico afloran hacia la mitad oriental de la franja central del territorio a modo de cuerpos de granitos leucocráticos y sienitas aplíticas según el Mapa Geológico de Cuba a escala 1: 100 000 (Academia de Ciencias de Cuba e Instituto de Geología y Paleontología, 1985).

La acreción del cinturón plegado-fallado cubano a la placa norteamericana, desarrollada en un ambiente tectónico compresivo, en una colisión oblicua entre placas tectónicas dio lugar al surgimiento de cuencas que se desarrollaron a lo largo de los sistemas de fallas de deslizamiento por el rumbo, cuencas transportadas al dorso de los sistemas de sobrecorrimiento y un sistema de cuencas de antepaís (Jesús Blanco, 1999). En la provincia avileña de modo general se reconocen elementos correspondientes a cada uno de estos sistemas de cuencas, los cuales se agrupan en la AEF de las Cuencas de Colisión, que se desarrollo entre el Cretácico Superior Campaniano al Eoceno Medio Superior, período este que comprendió el proceso de colisión. Dentro de los elementos propios a estos sistemas de cuencas, se reconoce principalmente la Cuenca Central la cual se extiende hacia la franja oriental del territorio provincial y se halla cubierta discordantemente por las rocas del neoaútóctono cubano. La evolución de esta cuenca estuvo ligada al surgimiento de fallas

rumbodeslizantes y movimientos de sobrecorrimiento por el buzamiento de fallas de bajo ángulo, lo que provocó la formación de un relieve desmembrado y complejo con zonas elevadas y hundidas adyacentes con determinado orden marcado por la tectónica (Jesús Blanco, 1999). La existencia de estas condiciones favoreció la acumulación de sedimentos terrígenos y carbonatados que constituyeron las rocas presentes hoy en este sistema.

Ocupando la mayor parte de la superficie del territorio provincial se hallan las rocas pertenecientes al segundo nivel estructural principal en el que se divide el modelo geológico de Cuba. Las rocas y estructuras del neoautoctono cubano se formaron después de la consolidación del substrato plegado, es decir, a partir del Eoceno Superior. Según las investigaciones realizadas durante esta etapa y hasta el presente, dominan los movimientos verticales oscilatorios, que dieron lugar a la formación de una estructura de bloques distintamente elevados. Algunos bloques son de altitud positiva, donde apenas se depositaron sedimentos de este intervalo; otros son de altitud intermedia, donde los espesores de sedimentos no superan los cientos de metros; y por fin los hay de altitud negativa, que conservan espesores de más de 3 000 metros de sedimentos del Eoceno Superior tardío al Reciente. Estos depósitos presentan muy pocas deformaciones cubriendo casi subhorizontalmente de forma discordante al substrato plegado (Iturralde-Vinent, 1996).

En estos sedimentos se pueden reconocer tres ciclos sedimentarios o estadios de transformación de la paleogeografía. Un estadio del Eoceno Superior al Oligoceno representado en la región de estudio por las rocas de las formaciones Chambas, Ferrer, Piedras, Marroquí, Vertientes Tamarindo y Jatibonico. Este ciclo se caracteriza hacia la zona oriental y central de Cuba, además de la cuenca de los Palacios, por la presencia de facies terrígenas y sílice-clásticas derivadas de la erosión de rocas preexistentes. Sobre este conjunto terrígeno se fueron acumulando sedimentos carbonatados que predominan hacia la porción superior de este estadio. El segundo ciclo se extiende del Mioceno Inferior al Medio Superior y al mismo se refieren las formaciones Paso Real, Arroyo Palma y Guines. Este ciclo presenta características estratigráficas más uniformes mostrando un predominio de facies carbonatadas. Los sedimentos propios del tercer ciclo de sedimentación del neoautoctono cubano ocupan el período comprendido desde el Plioceno al Reciente, en los mismos se evidencia un marcado carácter terrígeno y en Ciego de Ávila se representan por

las formaciones Villa Roja, Jaimanitas, Camacho, los depósitos aluviales-coluviales-proluviales, palustres y marinos.

Según el Mapa Geológico de Cuba 1:250 000 y 1:100 000 (Academia de Ciencias de Cuba e Instituto de Geología y Paleontología, 1985) y los datos obtenidos de las perforaciones realizadas con anterioridad, la geología del área es relativamente sencilla,

La tectónica del área de estudio en concordancia con la geología de esta, es relativamente sencilla y esta representada principalmente por un complejo de fallas registradas en el Mapa Geológico de la República de Cuba 1:100 000, las cuales se ubican fundamentalmente al SE de la provincia de Ciego de Ávila. Sin embargo en cuanto a movimientos sísmicos es bastante estable debido a la ausencia de desplazamientos en los planos de estas estructuras.

La región de estudio se enmarca en la estructura geotectónica de la Plataforma Moderna, la que se caracteriza por poca deformación y el dominio de los ambientes de mares poco profundos y relativa homogeneidad formacional entre las secuencias. Durante este período que caracteriza a la Plataforma del Eoceno Superior al Oligoceno, las deformaciones propias de la Cobertura Moderna son muy sencillas y están vinculadas a movimientos de carácter oscilatorios.

### **1.3. Marco geológico local.**

La zona de trabajo se caracteriza por estar ubicada en una amplísima cuenca de sedimentos aluviales Cuaternarios que sobreyacen transgresivamente al basamento de la Plataforma Moderna, representados en esta región indistintamente por las Formaciones Arroyo Blanco, Marroquí, Tamarindo, Chambas, de carácter fundamentalmente carbonatado para la región formando una gran llanura de centenares de km<sup>2</sup>. Estos sedimentos son de tipos arcillosos, arcillo-arenosos en su mayor parte conteniendo subordinadamente pequeños y subordinados cuerpos arenosos. La potencia de estos cuerpos de acuerdo a los señalado por el Informe del año 75 puede llegar a los 5.0 m.

#### **1.3.1. Estratigrafía.**

Estratigráficamente el área de estudio está representada por 4 formaciones, ellas son Arroyo Blanco, Marroquí, Chambas y Tamarindo. Según el Informe de las Academias de Ciencias de Cuba y Bulgaria en los trabajos a escala 1: 250 000. Las características de estas formaciones son las siguientes:

#### ***Formación Arroyo Blanco (ab).***

Autores: K. Bandt, 1958.

Distribución geográfica: Se desarrolla al N y NW del pueblo de Yaguajay; al E de la ciudad de Sancti Spíritus, entre los ríos Tuinicú y Zaza; al S de la Carretera Central, entre el monumento de Cristo, a 4 Km. al E de la ciudad de Sancti Spíritus y el valle del Río Manacas; en los alrededores del poblado de Arroyo Blanco y al NW de la Sierra de Jatibonico, provincia de Sancti Spíritus.

Litología diagnóstica: Limolitas, margas, areniscas calcáreas, conglomerados polimícticos, areniscas polimícticas, calizas biotetríticas, calizas arenosas, calizas biógenas, brecho-conglomerado polimíctico y margas arenosas.

**Relaciones estratigráficas:** Yace discordantemente sobre las formaciones Grande, Vega, Zaza, el olistostroma Taguasco y el Gr. Remedios. Está cubierta discordantemente por las formaciones Caibarién, Camacho, Chambas, Jatibonico, Lagunitas y Tamarindo. Transiciona lateralmente a la Fm. Marroquí.

Fósiles índices: Foraminíferos: *Dictyoconus americanus*, *Globigerinatheka mexicana kugleri*, *Lepidocyclina antillea*, *L. chaperi*, *L. pustulosa*, *L. macdonaldi*, *Morozovella lehneri*, *M. spinulosa*, *Nummulites macgillavryi*, *Pseudophragmina advena*, *Turborotalia centralis* s.l.,

Edad: Eoceno Medio parte alta- Eoceno Superior.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en la zona sublitoral.

Espesor: Oscila entre 100 y 150 m.

### ***Formación Marroquí (mrq).***

Autor: M. T. Kozary y P. Brönnimann, 1955b.

Área tipo: Alrededores del pueblo de Marroquí, provincia de Ciego de Ávila.

Distribución geográfica: Se desarrolla desde la localidad de Santa Ana hasta la de Las Yayas y desde la de La Venturilla hasta la carretera Chambas- Tamarindo y Loma El Cafetal al W, provincia de Ciego de Ávila.

Litología diagnóstica: Conglomerados brechosos, areniscas, gravelitas, calcarenitas, calizas y margas.

Los conglomerados contienen fragmentos con dimensiones de gravas y guijarros pequeños, rara vez de guijarros medios y grandes, de rocas carbonáticas (75- 80 %) y de diabasas, andesitas, serpentinitas y silicitas (jaspe). La matriz es de caliza clástica con mezcla de fragmentos volcánicos.

Las areniscas muestran estratificación horizontal, rara vez oblicua. Son polimícticas hasta biocalcarenitas. Las mezclas terrígenas son de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y fragmentos de rocas volcánicas.

Las gravelitas son una transición de las areniscas antes descritas.

Las calcarenitas son intraclásticas- biotriticas con cemento calcítico de granos transparentes poroso o basal. Los granos son de algas rojas, briozoos, bivalvos, foraminíferos bentónicos y planctónicos, cuarzo, poca plagioclasa y feldespato cálcico y fragmentos de vulcanitas desde básicas hasta medio básicas.

Entre las calizas tenemos: Calizas foraminífericas con matriz microgranular, calizas pelético-foraminífericas con matriz micro- criptogranular y litoclastos, calizas intraclástico- biotriticas con foraminíferos y matriz microgranular y calizas biotritico- foraminífericas con cemento de grano transparente.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre la Fm. Vertientes. Está cubierta discordantemente por las formaciones Chambas, Paso Real y Tamarindo. Transiciona lateralmente con la Fm. Arroyo Blanco.

Fósiles índices: Foraminíferos: *Amphistegina cubensis*, *A. parvula*, *A. pregrimsdalei*, *Asterocyclina* cf. *A. havanensis*, *Helicolepidina spiralis*, *Nummulites cubensis*, *N. floridensis*, *N. striatoreticulatus*, *Lepidocyclina chaperi*, *L. pustulosa*.

**Edad: Eoceno Superior.**

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente marino, en condiciones de plataforma, con aguas poco agitadas y etapas de subsidencia relativas.

Espesor: 300 m.

## **Formación Tamarindo (td).**

Autor: C. W. Hatten *et al.*, 1958.

Distribución geográfica: Se desarrolla al NW de la provincia de Ciego de Avila y al E de la de Sancti Spíritus.

Litología diagnóstica: Está constituida por una alternancia de calizas, calcarenitas, margas y arcillas. Las calizas son de varios tipos: foraminífericas, foraminiférica- biotriticas, microgranulares, pelítico- microgranulares y criptogranulares, biohémicas recristalizadas y ligeramente dolomitizadas.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Arroyo Blanco, Marroquí, Vertientes y el olistostroma Taguasco. Está cubierta transgresivamente por las formaciones Camacho y Paso Real. Transiciona lateralmente a las formaciones Chambas y Jatibonico.

Fósiles índices: Foraminíferos: *Globigerina angustiumbilitata*, *G. linaperta*, *G. officinalis*, *G. ouachitaensis*, *Lepidocyclina parvula*, *L. undosa*, *L. yurnagunensis*; Equínodos: *Clypeaster batheri*; Moluscos: *Hytissa antiguensis*.

Edad: Oligoceno Superior.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente de aguas marinas poco profundas en la zona periférica del *shelf*.

Espesor: Oscila entre 500 y 650 m.

### **Formación Chambas (chm).**

Autor: P. Truitt en: P. Brönnimann y G. Pardo, 1954.

Distribución geográfica: Se desarrolla en los alrededores y al NW del central azucarero Simón Bolívar, al N del pueblo de Yaguajay; al N de la Sierra de Jatibonico, en los alrededores del pueblo de Chambas, entre el Río Jatibonico del Norte y la carretera Tamarindo- Morón, y en afloramientos aislados en la parte sur de la Sierra de Jatibonico, entre el pueblo de Arroyo Blanco y la Loma Las Cuevas, provincia de Sancti Spiritus y la parte occidental de la provincia de Ciego de Ávila.

Litología diagnóstica: Calizas microgranulares, porosas, de capas gruesas, calizas arcillosas, porosas, que pasan a margas, es característico en ellas la presencia de ejemplares grandes de Teredos y muchas *Lepidocyclina*, calizas organógenas, porosas, constituidas principalmente por Moluscos y en menor cantidad por *Lepidocyclina* y calizas detríticas. Se observa en algunas calizas organógenas fragmentos redondeados de rocas volcánicas.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Arroyo Blanco y Marroquí. Está cubierta discordantemente por las formaciones Camacho, Paso Real y los depósitos del Cuaternario. Transiciona lateralmente a la Fm. Tamarindo.

Fósiles índices: Foraminíferos: *Amphisteginacf. gibbosa*, *Lepidocyclina (Eulepidina) undosa*.

**Edad: Oligoceno Superior.**

Ambiente de sedimentación: Se depositó en condiciones de mar profundo, en una zona con aguas tranquilas, con muy escaso aporte de material terrígeno.

Espesor: Oscila entre los 100 y 1500 m.

#### **1.3.2. Geología local.**

La zona de trabajo está caracterizada por un complejo de formaciones ígneas efusivas e intrusivas, de carácter básico y sedimentarias de tipos carbonatadas y detríticas, separadas por un sistema de fallas con dirección Este-Oeste conformando el relieve actual del sistema desde la altura de Jatibonico hasta la costa Norte.

Las partes más elevadas de la Sierra de Jatibonico están constituidas por basalto-andesita del Cretácico, así como serpentinitas, troctolitas y gabros olivínicos del propio período. Además afloran rocas del Jurásico de la Fm. Trocha representada por calizas y pedernales, sobreyaciendo a estas aparecen las calizas de la Fm. Vega y Fm. Yaguajay respectivamente hasta la gran llanura aluvial del Norte, cubierta por depósitos del Cuaternario.

Según los estudios realizados (Pérez N. y otros, 2000) el río Chambas nace en las lomas del sur de la Sierra de Jatibonico, a una altura de alrededor de 100 msnm, pasa al este, a unos 12km. por un cañón profundo entre las lomas al suroeste del pueblo de Chambas y continúa con rumbo noreste y norte a unos 36Km. hasta su desembocadura, situada al oeste del pueblo de Punta Alegre.

En la llanura al norte de la Sierra de Jatibonico el río forma muchos meandros de tamaños variables. Esta llanura está formada además por muchos arroyos y canales. En la superficie del terreno no se observa ninguna terraza antigua. El río está profundizado en la llanura unos 10m y forma cauces relativamente estrechos de paredes abruptas.

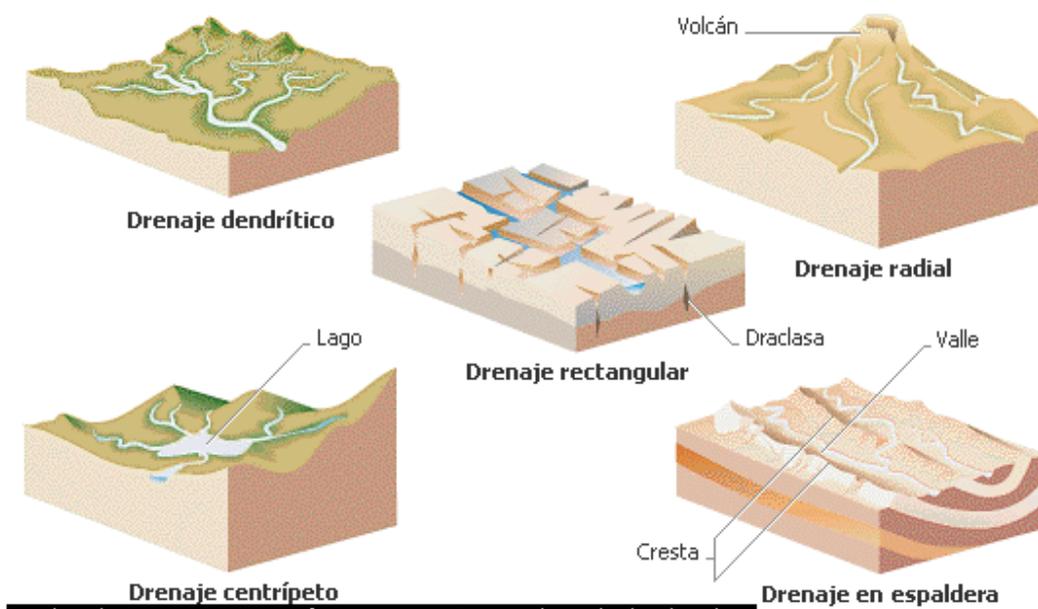
Los depósitos aluviales en la llanura al norte de la Sierra de Jatibonico son muy potentes. Es evidente que todo este material no fue acarreado por los ríos existentes en la zona, sino que el material descompuesto fue transportado de las montañas por muchos arroyos y corrientes irregulares.

De acuerdo con la clasificación genética de los yacimientos minerales (Ariosa. J. 1984), todos los de arenas son de tipo exógeno, formaciones detríticas y sedimentarias subdividiéndose en: eluviales, deluviales, proluviales, aluviales, etc.

Los depósitos aluviales se forman como resultado de la actividad de los ríos y están ampliamente distribuidos. Por sus condiciones de yacencia y los índices morfológicos, se reconocen las deposiciones aluviales contemporáneas y las antiguas; entre las contemporáneas se distinguen tres tipos en dependencia del tamaño del grano, vinculado a las características del curso de las aguas. Las deposiciones contemporáneas se relacionan con los cauces de los ríos y sus accidentes, forman terrazas y se concentran también en los deltas. Las formaciones aluviales antiguas yacen en terrazas enterradas. Para los depósitos aluviales son característicos los cuerpos planos y en forma de lentes. En el plano ellos tienen una forma alargada en la dirección del curso de agua y en un perfil vertical se puede apreciar su composición con capas interdigitadas y una gradación normal con cantos y granos en su parte inferior. Dentro de las capas de arena frecuentemente se encuentran arcillas, aleuritas y gravas.

#### *1.3.2.1. Modelo de Drenaje.*

Un modelo de drenaje (Según Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation. Modelo de drenaje) describe el modo particular en que los afluentes (es decir, los cursos fluviales que alimentan a otros más grandes) y los ríos se subdividen en diferentes brazos. Los modelos de drenaje toman diversas formas dependiendo primordialmente de la estructura geológica del sustrato rocoso. El más común es el llamado dendrítico, que suele desarrollarse allí donde toda la cuenca de drenaje está constituida por el mismo tipo de roca. Este modelo recuerda el diseño de los árboles, con los afluentes más pequeños en el lugar de las ramas más alejadas y el río principal en el lugar del tronco. En él, los tributarios se reúnen trazando ángulos agudos, con uniones en Y.



Enciclopedia Encarta, © Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Fig. 1 Modelos de drenajes. Según Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation.

Las corrientes fluviales tienden a formar cinco tipos diferentes de drenaje: dendrítico, rectangular, radial, centrípeto y en espaldera. Como se muestra en la fig.1. Esta tipología resultante es fruto de la clase de suelo existente en el área de drenaje y de la erosión del mismo por la acción de los cursos fluviales. Así, el modelo dendrítico (presente en el área de estudio), caracterizado por la ramificación, se forma en áreas con rocas sedimentarias planas, mientras que las regiones con cumbres elevadas, como las volcánicas, tienen un drenaje de tipo radial. En ocasiones, el agua fluye hacia un valle profundo a causa del drenaje de tipo centrípeto, dando lugar a un lago, o erosiona zonas localizadas entre crestas y cordones montañosos, lo que origina valles encajonados, como sucede cuando el drenaje es en espaldera. Según Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation. Modelo de drenaje.

En términos generales, los ríos son un claro ejemplo de sistemas fluviales regidos por la gravedad, ya que la mayor parte de los movimientos de fluidos en sistemas naturales es el resultado de la acción de la gravedad, produciendo un movimiento de fluido pendiente abajo.

Para entender los diferentes resultados de los ambientes aluviales es necesario tener una idea sobre los principales factores que controlan el desarrollo de la morfología fluvial, sobre todo en cuanto al tipo de canal.

### **1.3.2.2. Factores que controlan la sedimentación aluvial.**

Los principales factores que controlan la sedimentación fluvial, y que a su vez están interrelacionados, son según Schumm & Lichty (1965) (en Schumm, 1981):

1. Tiempo.
2. Relieve inicial.
3. Geología (litología-estructura).
4. Clima.
5. Vegetación (tipo y densidad).
6. Relieve o volumen del sistema sobre el nivel de base.
7. Hidrología (escorrentía y carga sedimentaria en la parte superior del sistema).
8. Red de drenaje.
9. Morfología de las pendientes.
10. Hidrología (descarga de agua y sedimentos hacia las zonas media e inferior del sistema fluvial).
11. Morfología del canal y del valle y características del sedimento.
12. Morfología del sistema deposicional y características del sedimento.

Las cuatro primeras variables (tiempo, relieve, geología y clima) son las más importantes y las que controlan principalmente la evolución del sistema.

Las clasificaciones de los sistemas aluviales se han llevado a cabo, generalmente, en función de los tipos de canales. La clasificación de Leopold & Wolman (1957) que reconoce 3 tipos de canales (rectos, braided y meandriformes) ha sido ampliamente utilizada, si bien en la actualidad se reconoce la existencia de otros tipos intermedios, lo cual ha hecho aconsejable una ampliación de esta clasificación. Rust (1978) establece una clasificación en función de la sinuosidad y del número de canales (Fig.2). La sinuosidad (S) sería la relación existente entre la longitud del canal y la distancia del valle.

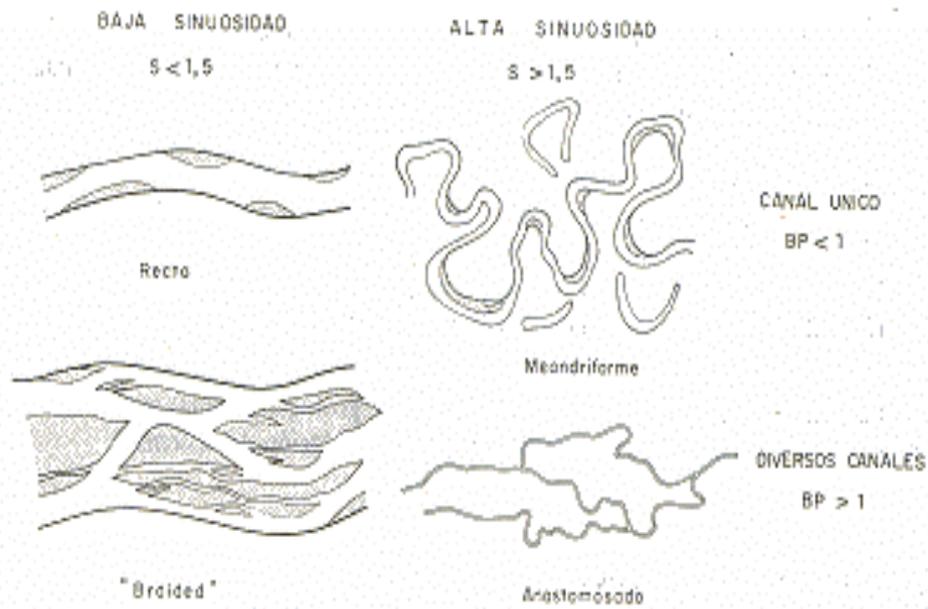


Fig.2 Principales tipos de ríos en función del número de canales (parámetro braiding BP) y la sinuosidad (S) (Modificado por Miall 1977).

El parámetro braiding (BP en la Fig. 2) estaría en función del número de islas o barras dentro de los canales, variando su obtención según los diferentes autores (Fig.3).

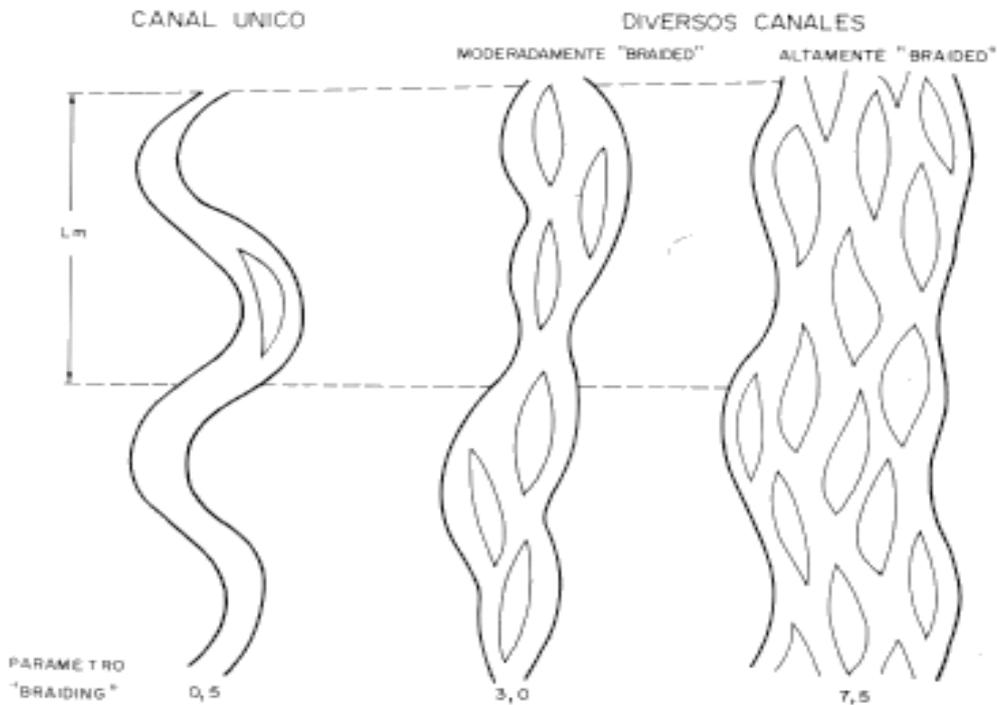


Fig.3 Esquema de canales según el parámetro braiding : BP es el número de divisiones y uniones de un canal alrededor de una isla o barra en una longitud de onda media de meandro (Rust,1978).

Existe una clara relación entre el tipo de carga que transporta, el canal y la forma del mismo (Fig. 4). En términos generales los canales que transportan preferentemente carga en suspensión son más estrechos y profundo y de una mayor sinuosidad. Todo esto está relacionado con el grado de cohesividad de las orillas, mucho más alto en los materiales de granulometría más fina. Con referencia al contenido de materiales de granulometría fina en los depósitos fluviales hay que tener en cuenta que, si bien depende básicamente de la litología del área madre, la mayor parte de la carga en suspensión que transportan los ríos no se suele depositar en los mismos, sino que llegan al mar.

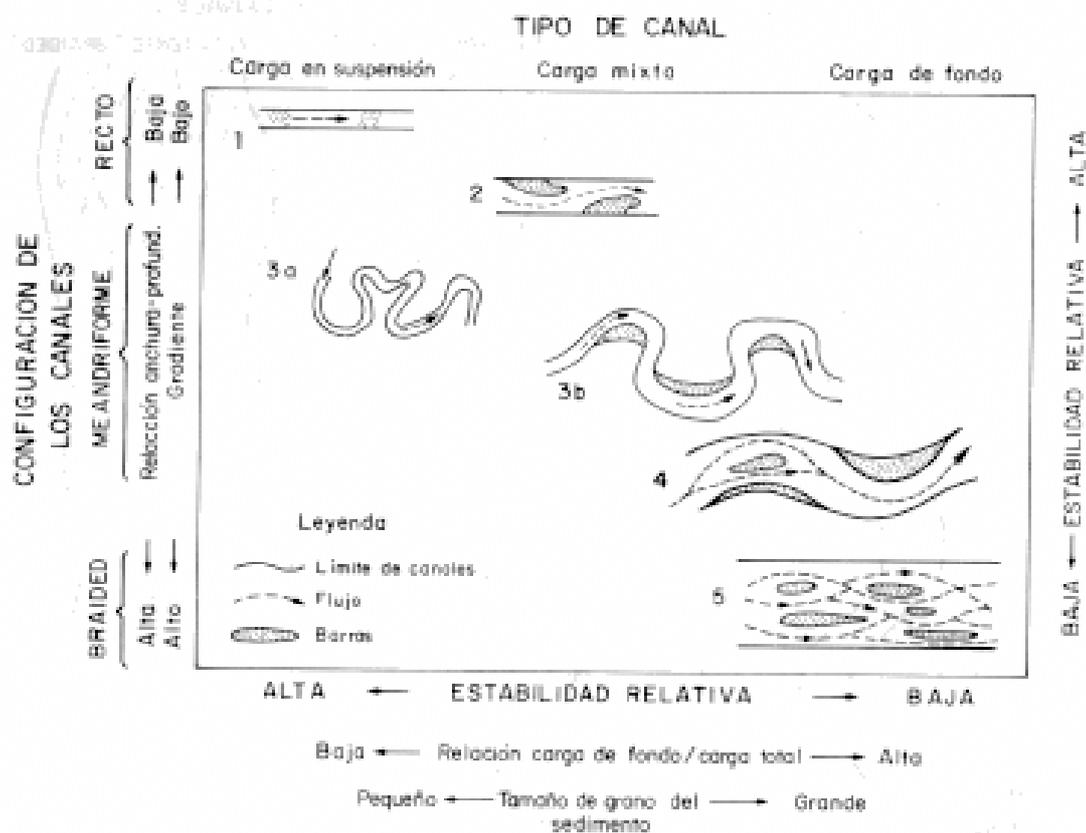


Fig. 4 Clasificación de los canales basada en la configuración de los canales y el tipo de carga, con indicación de las variables asociadas y la estabilidad relativa (Schumm y Meyer, 1979, en Schumm,1981).



### 1.3.2.3. Clasificación de las facies fluviales.

Dada la estrecha relación entre carga y forma de canal, y al ser la primera característica fácilmente reconocible en el campo en series antiguas, no así la segunda, Friend (1983) establece una clasificación de la facies fluviales, en función del tamaño del grano, a su vez en estrecha relación con el medio de transporte:

- Unidades de granos gruesos (arenas, gravas). Transporte por carga de fondo.
- Unidades de grano fino (limos y arcillas). Transporte en suspensión.

Los canales de acuerdo a su comportamiento se clasifican en (Fig.5):

- Sheet flood (corriente no canalizada).
- Canal fijo (el canal varía dentro de un margen discreto).
- Canal o canales móviles (los canales ocupan muy diferentes posiciones a lo largo del tiempo).

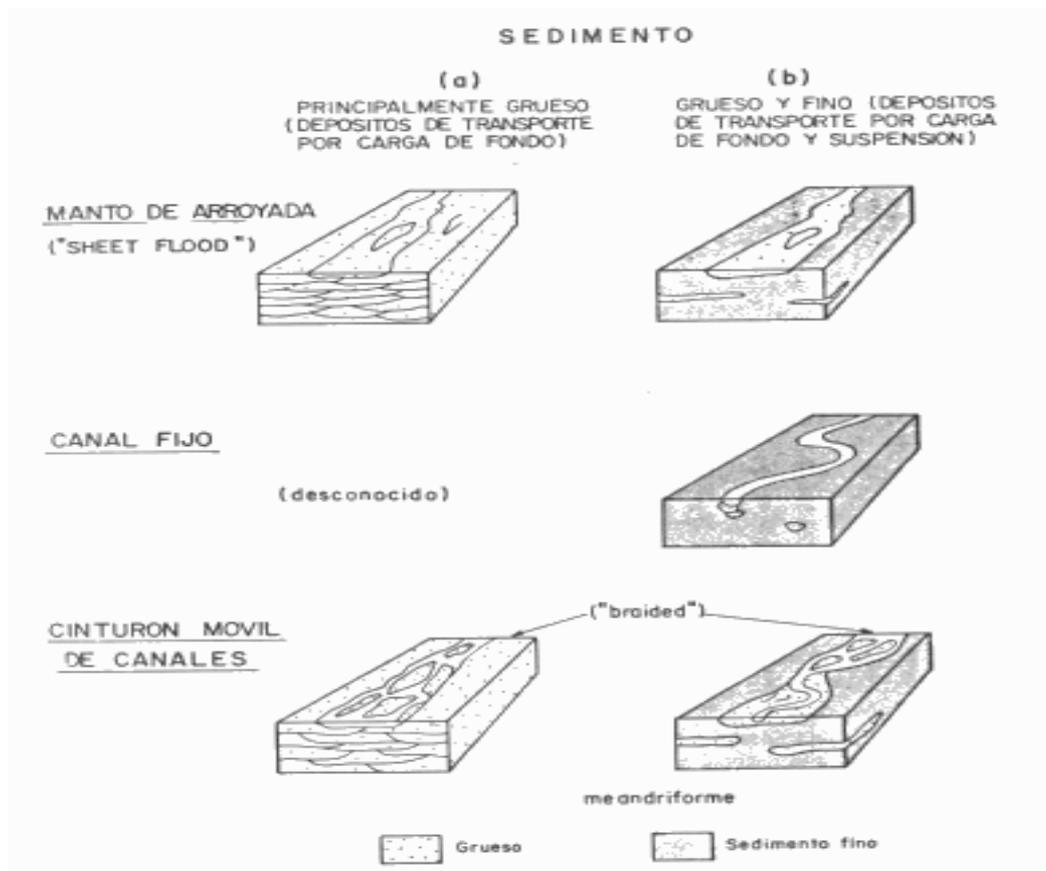


Fig.5 Modelos de diferentes tipos de arquitectura aluvial y secuencias correspondientes  
(Friend,1983).

Es importante destacar, que cuando no se conocen canales, las causas pueden ser muy variadas:

- Existencia de sheet flood.
- Retrabajamiento de unos de los canales sobre otros, lo que hace que no sean distinguibles.
- Perímetro del canal de muy bajo ángulo.
- Sedimentos demasiados uniformes (no se aprecian superficies visibles entre barras y canales).
- Malos afloramientos.

En general, a nivel geológico los canales son muy difíciles de distinguir cuando más antiguo sean los materiales. Esto está en relación con la presencia o no de vegetación en la llanura aluvial, al ser este un importante factor en relación con la cohesividad de las orillas.

Bridge (1985) lleva a cabo un análisis de los diferentes criterios utilizados para la interpretación de paleocanales, sobre todo en el caso de ausencia de afloramientos completos. Si bien observa que existe una continuidad entre los diferentes tipos de canales y que los criterios sedimentarios de diferenciación utilizados en muchas ocasiones son comunes a diversos tipos, existen algunos criterios básicos que pueden ser de gran utilidad:

- La proporción de los depósitos de relleno de canal, en relación a los depósitos de acreción lateral, aumenta con el incremento del índice braiding.
- El tamaño del grano de los depósitos de canal, en relación con el de los depósitos de acreción lateral, disminuye con el aumento de la sinuosidad.
- La variación de las paleocorrientes aumenta con un aumento de la sinuosidad.
- Los datos de descarga, pendiente y relación anchura-profundidad, está en relación directa cuantitativa con los depósitos de barras y canales.

#### **1.3.2.4. Sistema aluvial Braided.**

La existencia de los cuerpos arenosos en la zona de estudio está relacionado principalmente por la actividad evolutiva del río Chambas que se cataloga como un Sistema aluvial tipo Braided de llanura aluvial relacionado al frente montañoso de la Sierra de Jatibonico.

El término braided lo utilizamos en el sentido de Rust (1978 a y b), como cursos de agua de múltiples canales con baja sinuosidad. El término aluvial incluiría no solo a los ríos bien definidos sino también los sistemas de canales dispersos, tanto en abanico aluviales como en llanuras.

Según esto, los depósitos aluviales braided se acumulan en tres ambientes principales : ríos braided, abanicos aluviales y llanuras aluviales.

Los ríos braided están confinados en los laterales de un valle y cubren la mayor parte del fondo del valle durante las etapas de inundación.

Los abanicos y las llanuras se extienden en dos dimensiones sobre áreas amplias. Durante la etapa de avenida no se llega a inundar toda la superficie; sin embargo, a escala geológica, toda la superficie del abanico o de la llanura aluvial es ocupada durante períodos de tiempo relativamente cortos. Los abanicos difieren de las llanuras en que son formas más localizadas, con una morfología delimitada, centrada en un ápice.

Los abanicos y las llanuras aluviales de tipo braided están con frecuencia relacionados, ya que éstos pueden constituir las partes más distales de aquellos. Hoy en día, los sistemas aluviales de tipo braided se forman en áreas de sistemas de drenajes con descargas muy variables y con cubierta vegetal muy escasa.

Los sistemas aluviales braided se dividen en dos tipos según la litología predominante:

- Sistemas aluviales braided de gravas.
- Sistemas aluviales braided de arenas.

Este criterio de diferenciación está en relación directa con el modo de transporte. En el primer caso las gravas (litología determinante) son transportadas como carga de fondo, y las arenas (litología secundaria) se transporta en suspensión. En el segundo caso, existe un movimiento por carga de fondo mixto de arenas y gravas, con un neto predominante de arenas. Así pues, en este segundo caso, los cantos estarán dispersos y aislados dentro de las arenas, a no ser que exista un rebajamiento y concentración de cantos que dé lugar a un depósito de lag.

En este caso el que no interesa es el sistemas aluviales braide de arenas, con un modo de transporte por carga de fondo mixto de arena y gravas, con un neto predominante de arena.

#### **1.3.2.4.1. Sistema aluvial braided en arena.**

Estos sistemas, dentro de un esquema clásico, suelen desarrollarse aguas debajo de los sistemas de gravas. El cambio en el tamaño del grano suele venir acompañado de un cambio en la forma de acumulación de los cuerpos arenosos, pasando del predominio de barras longitudinales aguas arribas a un predominio de barras transversales en estas zonas más arenosas.

Los elementos morfológicos de estos ríos son muy complejos, desde formas simples de pequeña escala hasta formas compuestas de gran tamaño y complejidad. El río circula por encima y entre esas formas de acumulación arenosa, dando lugar a un sistema braided con múltiples bifurcaciones y reagrupamiento de canales. El material fino (limos y arcillas) suele ser transportado dentro del sistema sin llegar a acumularse, los depósitos de acreción vertical no suelen presentarse y la sedimentación en las zonas de llanura de inundación suelen tener escasa importancia.

En estos sistema braided, los canales son bastante inestables, variando con frecuencia de posición, produciendo alternativamente procesos de agradación y degradación, relacionados así mismo con la erosión de los sand flat laterales.

Llanuras arenosa (sand flat) (Fig.6): son grandes áreas de acumulación de arenas que estan emergidas en regimen bajo y moderado del río. Los sand flat pueden ser muy simple,

o muy complicados al ser el resultado de la coalescencia de diversas formas menores. Normalmente son formas mixtas, compuestas de barras, sand waves y ripples.

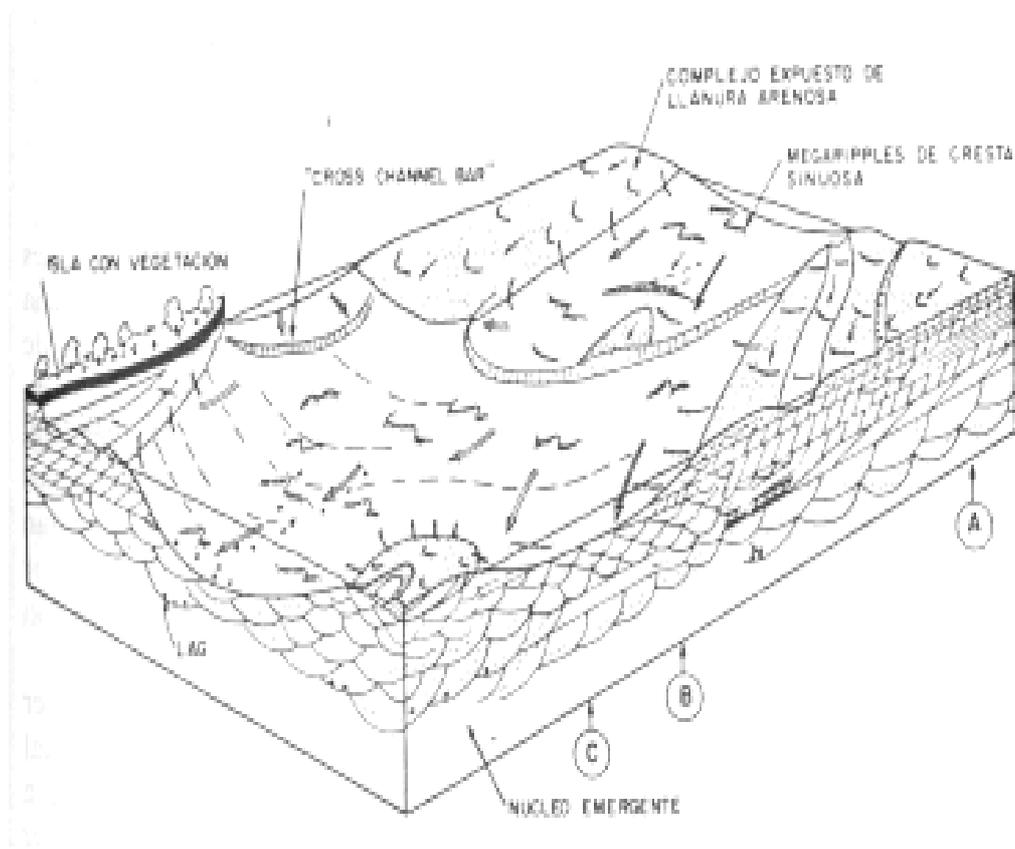


Fig.6 Bloque diagrama que resume los principales elementos morfológicos y sus facies en el modelo de un río. A: localización de la secuencia que presenta desarrollo predominante de llanura arenosa. B: secuencia de influencia mixta y C: secuencia con predominio de agradación dentro del canal. (Cant y Walker, 1978).

Las barras transversales que se forman dentro de los canales suelen ser de forma linguoide y pueden desarrollarse a lo ancho de todo el canal (cross channel bar). Estas barras pueden coalescer en un complejo proceso, dando lugar a formas de sand flat. (Fig.7)

Internamente los sand flat representan la parte alta emergida de una cross channel bar, por tanto presentan sets de estratificación cruzada planar tabular de 0,5 '' 2m de altura. Sobre estos sets mayores, predominan sets menores de estratificación cruzada planar tabular (Fig.6). las direcciones de estas formas son variables, y se producen por la migración de

formas menores, a partir de los canales, sobre las barras. Son frecuentes en estas formas las superficies de reactivación.

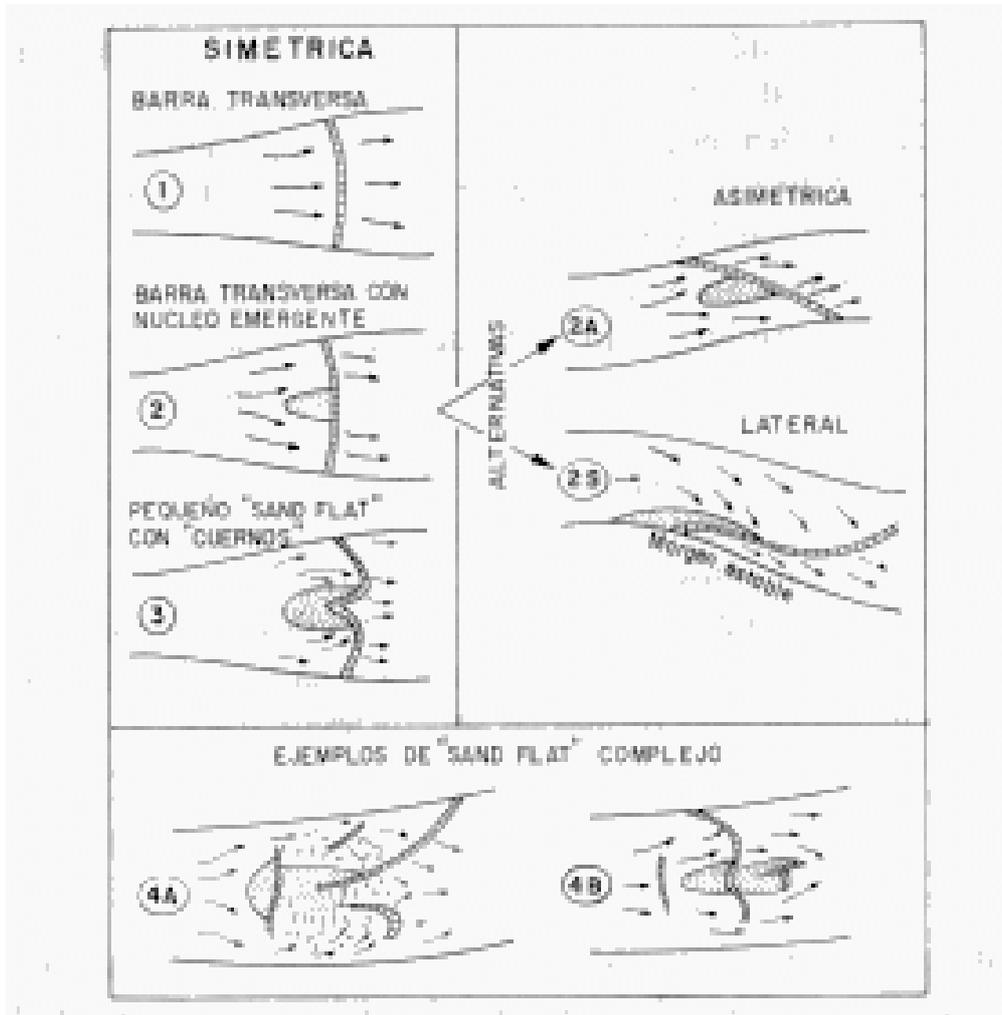


Fig. 6 Desarrollo de la llanura arenosa, según Cant y Walker(1978) 1: Cross channel bar sumergida. 2: si la barra de Cross channel es diagonal, el número será asimétrico (2A) o bien adyacente a las orillas estables (2S) 3:la expansión aguas abajo del número da lugar al desarrollo de unos cuerpos (horns). 4 (AyB): la evolución posterior origina unas formas complejas de llanura arenosa.

En conjunto tendríamos tres secuencias (Fig. 7), siendo la denominación de afluencia mixta unos de los pasos intermedios entre las zonas de canal y las de sand flat.

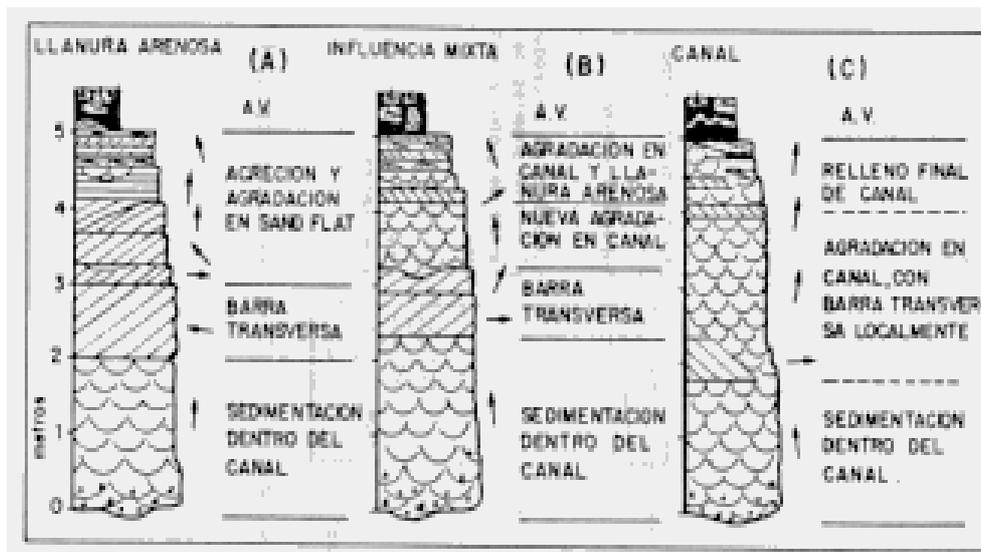


Fig. 7 Secuencias características de las áreas con predominio de llanura arenosa, influencia mixta y canal. (Las flechas indican, en rangos generales, el grado de variabilidad de las paleocorrientes).

La acumulación de depósitos de sistemas Braided arenosos de lugar a cuerpos tabulares de gran continuidad lateral que sería el resultado de la coalescencia de sistemas de canales fluviales, compuestos a su vez de canales de menor tamaño.

#### 1.4. Factores que argumentan la selección del área.

Las figuras 1.1 y 1.2 nos dan entre otros elementos, la disposición de un cinturón de meandros abandonados y también otro cinturón de meandros activos. Nótese la disposición en el espacio de uno con respecto al otro. El correspondiente a los meandros activos está por lo general a pocos centenares de metros del cauce actual a ambos lados del mismo, pero la ubicación del cinturón de meandros abandonados se ubica a distancia significativa del cauce actual y hacia un lado, que pudiera ser el derecho o el izquierdo, ya que el río va evolucionando y migrando en el tiempo.

Se fotointerpretó una vasta zona en los alrededores del río, tanto hacia el Oeste como al Este, con vistas a tratar de tener información acerca de la evolución del mismo y tratar de obtener datos que nos reflejaran donde está su paleocauce con los meandros abandonados,

pero como la zona no es virgen y esta muy trabajada por el hombre y por otra parte ella ha estado sujeta a eventos geológicos de carácter transgresivos, todo ello enmascara y dificulta obtener tales consideraciones. Sin embargo hacia el NE de la actual cantera se mapearon algunas alineaciones que nos hace pensar en viejas estructuras fluviales.

Descartada la intención de realizar la investigación en el margen occidental del río debido a las condiciones técnico mineras desfavorables para la extracción, por la presencia de numerosos canales de irrigación usados en los cultivos, existiendo en estos momentos reservas en el orden de las 800 Mm<sup>3</sup> que no se pueden extraer, pues se imponía la necesidad de revisar la orilla oriental con vista a resolver la situación presentada con el déficit de reservas.

En función de las posibilidades de hallar depósitos arenosos en este flanco oriental del río, toda vez que como ya hemos explicado existen varios ambientes concernientes a este tipo de corriente fluvial que son potencialmente industriales, esperamos cortar varios de estas pequeñas estructuras, las cuales deberán en suma tener un área aproximada de 0.2 km<sup>2</sup> para poder satisfacer la demanda planteada de 390.0 Mm<sup>3</sup>.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.**

### 2.1. Introducción.

Para este trabajo se ha previsto aplicar la metodología basada en las informaciones que nos pueda dar la geofísica. Esta nos brinda técnico y económicamente resultados muy relevantes en todos los sentidos con relación a la metodología de la prospección a base de centenares y centenares de perforaciones. Esta ventaja se traduce en que prácticamente son mínimas las barreras naturales para la accesibilidad de la técnica a emplear; los resultados que brinda son computarizados y en tiempo récord; presenta la disposición diáfana y clara de la posición espacial de los cuerpos arenosos que pudieran formar el cinturón de meandros abandonados si existiese en la zona, la potencia y la profundidad a que se encuentran, ancho de los mismos, las zonas de acuíferos, etc.(todo esto sin perforar un solo pozo); y lo más significativo es que permite dada su rapidez y eficiencia, un ahorro sustancial de recursos financieros y tiempo.

Compararemos con un ejemplo real: si decidiéramos aplicar para nuestra zona la misma técnica que se usó en la investigación que generó en este caso el Informe del año 2000, realizada para este yacimiento, en la cual para un área de aproximadamente 6Km<sup>2</sup> se perforaron 748 pozos en una red de 100 x 50m, al extrapolar analógicamente este mismo principio para nuestra zona de estudio, el importe financiero por solo el concepto de pozos a perforar sería cercano a los \$60 000.00, más de lo que cuesta este proyecto. Eso sin contar que a esa suma hay que agregar los gastos por concepto de topografía, investigaciones de laboratorio, confección del Proyecto e Informe Final, todo lo cual pudiera llevar el importe final a más de \$80 000.00.

Supongamos ahora que hicimos los pozos y no se encontró lo que se buscaba. Se perdieron más de \$60 000.00. Debe partirse del hecho que esta metodología obliga a realizar el pozo para saber si hay arena, por lo tanto si planificó 350 ó 400 perforaciones, estas hay que ejecutarlas.

Sin embargo, usando la metodología a base de la geofísica, al suponer que en la zona no se encontró el cinturón de meandros abandonados, ya que no fue descubierto por la

prospección geoeléctrica y magnetométrica, los gastos que se ocasionarían serían de solo \$17 477.37, o sea cerca de 3.5 veces inferior , además del ahorro de tiempo.

Los trabajos proyectados se realizarán en 2 etapas, los de la Prospección y los de la Exploración.

La Prospección tendrá como objetivo, detectar el emplazamiento de los depósitos arenosos en el área por medio de los métodos geofísicos, mapeando sus límites naturales. Luego al aplicar los métodos de laboreos de comprobación se obtendrá el conocimiento preliminar de las propiedades geólogo-tecnológicas, minero-técnicas, etc. delimitando reservas.

La Exploración aplicará métodos geológicos, de perforación, laboreos mineros, tecnológicos y topográficos y tendrá como objetivos: Brindar de forma precisa los límites de los cuerpos arenosos tanto por la superficie como por la vertical, determinar la estructura de los depósitos arenosos, determinar las propiedades tecnológicas de cada cuerpo y precisar las condiciones hidrogeológicas y minero técnicas.

## **2.2. Trabajos de campo.**

Primeramente se recopiló toda la información existente de nuestra zona de estudio y se procesó la misma. Después nos dirigimos hacia el área de estudio para realizar los distintos trabajos de campos proyectados.

Los trabajos de campo que se realizaron fueron los siguientes:

- ❖ Itinerarios geológicos.
- ❖ Trabajos topográficos.
- ❖ Trabajos geofísicos.
- ❖ Trabajos de perforación.
- ❖ Muestreo.

### **2.2.1. Itinerarios geológicos.**

Los itinerarios se realizaron a través de los perfiles que la topografía trazara, donde se hará el mapeo de todos los elementos, tantos geológicos como de cualquier otra índole del perfil y sus alrededores, mapeándose 50m a ambos lados del mismo. El resultado de este trabajo posibilitará brindar posteriormente en los planos de datos reales y geológicos las condiciones del sector. La red de los itinerarios será de 100x10 m. con acimut de 135°.

### **2.2.2. Trabajos topográficos.**

Los trabajos topográficos se realizaron para la ejecución de el trazado de líneas y perfiles con una red de 100x10 m. para poder asegurar la precisión de los trabajos geofísicos (ver anexo #2). Donde los equipos utilizados fueron:

- ❖ Daltha - 010 - B 400243
- ❖ Cinta métrica metálica de 50m.
- ❖ Jalones de aluminio de dos secciones.

Estos equipos están verificados y con el sello de aptos para el uso del departamento de Metrología Geocuba Camagüey.

Para la ejecución de estos trabajos fue necesario realizar una magistral de 2 Km. de longitud con un acimut de 45° estaquillada cada 100m, posteriormente se comenzó el trazado de los perfiles de forma perpendicular a la magistral estaquillándose cada 20m.

Los resultados de los trabajos topográficos se representan a través de el trazado de los perfiles de forma perpendicular a la magistral estaquillándose cada 20m. Los perfiles fueron enumerados (L-0,L-1,L-2,L-3,.....L-20) haciéndose un total de 21 perfiles con una longitud variada, enumeradas positivas al este y negativas al oeste.

**Tabla # 1 Tabla de longitudes de los perfiles.**

<b>No. de perfiles.</b>	<b>Longitud (Km.)</b>
L-0	1.20
L-1	1.20
L-2	1.28
L-3	1.35
L-4	1.40
L-5	1.47
L-6	1.54
L-7	1.56
L-8	1.57
L-9	1.55
L-10	1.49
L-11	1.45
L-12	1.43
L-13	1.42
L-14	1.40
L-15	1.39
L-16	1.38
L-17	1.37
L-18	1.39
L-19	1.42
L-20	1.47
<b>MAGISTRAL 2.0 Km.</b>	

### **2.2.3. Trabajos geofísicos.**

Después de concluido el trabajo topográfico se analizó que método geofísico permitiría obtener resultados positivos para esclarecer los antiguos paleocauces en el área de estudio y los aplicados fueron:

- ❖ Magnetometría.
- ❖ Perfilaje Eléctrico Simétrico (PES).

Los cuales analizaremos a continuación.

#### **2.2.3.1. Magnetometría.**

Los trabajos magnetométricos se realizaron con una red de 100x10 m. donde se midió el componente total del campo magnético ( $\Delta T$ ). El equipo que se utilizó fue:

- ❖ Magnetómetro Protónico MMP -203.

Este equipo está destinado para realizar mediciones del valor absoluto de inducción del campo magnético con fines de la cartografía geológica y detallamiento de las anomalías magnéticas.

Datos técnicos del equipo:

- ❖ Rango de medición de 20 000 - 100 000 nT.
- ❖ Error de medición  $\pm 1$ nT.
- ❖ Componente del error sistemático del magnetómetro  $\pm 2$ nT.
- ❖ País de fabricación Rusia.
- ❖ Capacidad de medición de 3000 datos.

Se eligió un punto de control fuera de el área de trabajo donde se realizaron mediciones con un intervalo de 2 – 3 h, para realizar las correcciones de deriva del equipo. Lo que detectó que en el horario de 12pm – 2pm no se podía trabajar porque eran las mayores variaciones de campo magnético. A pesar de que estas variaciones fueron pequeñas por la alta precisión del equipo.

Este método servirá para mapear las debilidades tectónicas que existan en el área de estudio y conociendo que los ríos aprovechan estas debilidades para seguir su cauce podemos determinar la posible existencia del paleocauce y así localizar la franja de meandros abandonados.

El objetivo principal de este trabajo es para correlacionar las anomalías eléctricas, es decir como apoyo para la correlación y seguimiento de las anomalías eléctricas entre perfiles.

### 2.2.3.2. Perfilaje Eléctrico Simétrico.

Los trabajos del perfilaje eléctrico simétrico se realizaron con una red de 100x10 m. donde se midió la diferencia de potencial ( $\Delta U$ ) entre los electrodos de medición (MN) y el valor de la corriente (I) que circula por los electrodos de alimentación (AB). El equipo que se utilizó fue:

- ❖ Estación geoelectrica Tayata (transmisión y receptor).

Destinada para realizar mediciones de resistividad mediante la utilización de diferentes dispositivos geoelectricos con el objetivo de la cartografía geológica, búsqueda de minerales metálicos y no metálicos, así como estudios hidrogeológicos, ingeniero civil, arqueología y otros.

Datos técnicos:

Equipo receptor:

- ❖ Rango de medición DCV (voltaje de corriente directa) de 200mV – 1000V.
- ❖ Precisión por rango.
  - 200 mV –  $\pm 0.25\%$
  - 1000mV –  $\pm 0.5\%$

Equipo trasmisor:

- ❖ Voltaje de salida de corriente directa desde 20V – 140V. En la zona se utilizó un voltaje de 120V.
- ❖ Potencia de salida de 0,5 Walt.
- ❖ Fuente de alimentación de 12V – 10Ah.

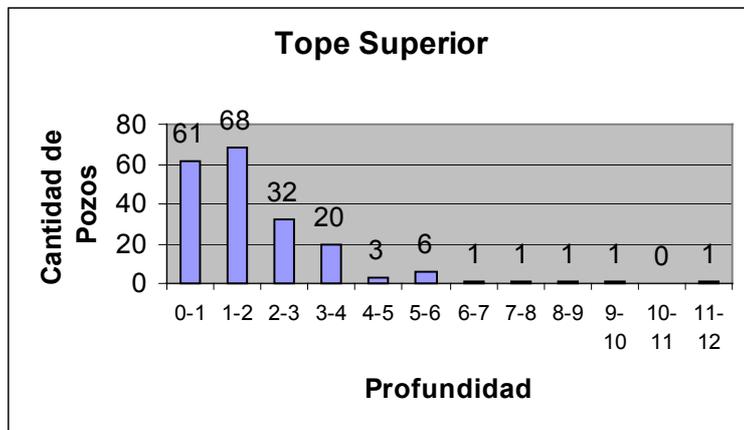
Los trabajos se realizaron en un período de seca, lo cual facilitó el contraste de resistividad y evitar la fuga de la corriente eléctrica.

**Trabajos experimentales.**

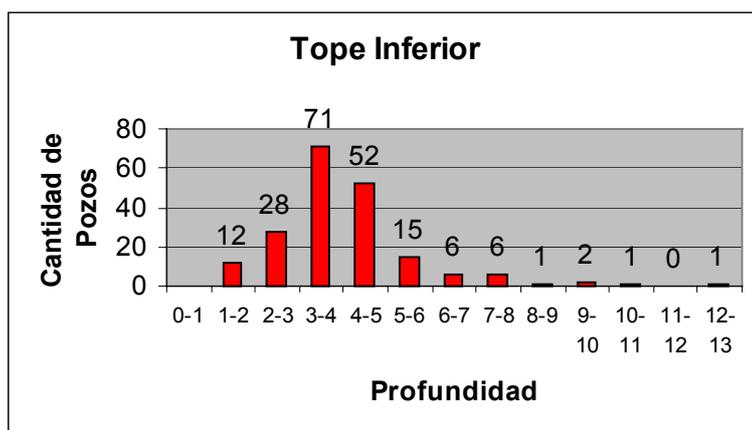
Estos trabajos se realizaron con el objetivo de determinar la variante del método a utilizar y las distancias entre los electrodos de corriente y los de medición y para comprobar la confiabilidad del método en la detección de arena aluvial.

*Arena Chambas . Procesamiento Estadístico (1969 –1975).*

<b>Tope Superior</b>	
Profundidad (m)	Cant de Pozos
0-1	61
1-2	<b>68</b>
2-3	32
3-4	20
4-5	3
5-6	6
6-7	1
7-8	1
8-9	1
9-10	1
10-11	0
11-12	1



<b>Tope Inferior</b>	
Profundidad (m)	Cant de Pozos
0-1	
1-2	12
2-3	28
3-4	<b>71</b>
4-5	52
5-6	15
6-7	6
7-8	6
8-9	1
9-10	2
10-11	1
11-12	0
12-13	1



Como se puede ver en el análisis estadísticos la mayoría de los pozos tienen el tope superior entre 1–2m de profundidad y el tope superior entre lo 3–4m de profundidad.

La relación que se conoce para los perfilajes es:

Profundidad de investigación =  $1/4 - 1/7 AB$

Si tomamos que la distancia de  $AB = 30m$ , obtenemos que:

$$\begin{aligned} &1/4 \times AB \\ &= 1/4 \times 30 \\ &= 7.5m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &1/7 \times AB \\ &= 1/7 \times 30 \\ &= 4.2m \end{aligned}$$

Analizando lo antes expuesto podemos decir que si tomamos  $AB = 30m$  tenemos una profundidad de estudio entre los 4.2 y 7.5 m de profundidad, lo cual cumple con la condición de las profundidades en las cuales se han cortado los pozos según el histograma.

Si  $MN = 1/3 \times AB$

$$MN = 1/3 \times 30$$

$$MN = 10m$$

Entonces se utilizará la variante de una abertura con dispositivo  $MN = 10m$ ,  $AB = 30m$ .

Para comprobar si este método era eficiente se realizó un trabajo experimental en Chambas IV, donde se tomó un perfil donde ya se habían realizado un gran número de perforaciones con un paso de investigación de 25m. Con el PES se detectó un cuerpo principal con un ancho de 220m y dos cuerpos de 30 y 50m. Según el gráfico ( esto fue hecho a mano en el campo).



**Tabla # 2. Tabla de datos del perfil experimental Chambas IV.**

<b>No. de pozo</b>	<b>Cubierta. (m)</b>	<b>Potencia útil (m)</b>	<b>Profundidad. (m)</b>	<b><u>Clasificación</u></b>	<b>Resistividad Aparente (ohm-m)</b>
1	-	-	4.0	Negativo	< 10
2	-	-	4.0	Negativo	< 10
3	-	-	4.0	Negativo	< 10
4	2.0	0.5	3.5	No industrial	10
5	1.7	1.8	4.5	Industrial	10-18
6	-	-	4.0	Negativo	< 10
7	-	-	4.5	Negativo	< 10
8	-	-	4.0	Negativo	< 10
9	-	-	4.0	Negativo	< 10
10	-	-	4.0	Negativo	< 10
11	2.0	0.5	4.0	No industrial	10-13
12	-	-	4.0	Negativo	< 10
13	-	-	4.0	Negativo	< 10
14	-	-	4.0	Negativo	< 10
15	3.0	0.5	3.5	No industrial	10-12
16	3.0	0.5	4.5	No industrial	16
17	2.5	1.0	4.5	No industrial	19
18	2.5	2.0	5.5	No industrial	24
19	2.0	2.0	5.0	Industrial	30-36
20	1.3	1.3	3.5	Industrial	30-36
21	2.5	0.5	4.0	No industrial	22
22	2.0	0.5	3.5	No industrial	10
23	-	-	4.0	Negativo	< 10
24	-	-	4.0	Negativo	< 10
25	-	-	4.0	Negativo	< 10
26	-	-	4.0	Negativo	< 10
27	-	-	4.0	Negativo	< 10

#### **2.2.4. Trabajo de perforación.**

Concluidos los trabajos de geofísica y siendo mapeado por el PES los cuerpos arenosos, se pasó a los trabajos de perforación, los cuales se realizaron en dos etapas. La primera correspondió a la etapa de Exploración Primaria donde se realizaron la ejecución de 10 pozos ubicados cada 200 m sobre la línea de los perfiles, los cuales fueron denominados del PP-1 al PP-10. Después de comprobada la existencia de los cuerpo de arena en dicha zona y que coincidían con los resultados del método geofísico PES, pasamos a la etapa de Exploración Detallada donde se realizaron 27 pozos en una red de 200x50 distribuidos entre los perfiles L-5 y L-11, los cuales fueron denominados del PD-1 al PD-27.

El equipamiento utilizado fue una maquina con cabezal hidráulico auto transportada del tipo UKB-500. La perforación fue en seco, mediante coronas y recuperación de 100% de testigos, con un diámetro de 111mm, con sondeos cortos de 0.50m. La profundidad máxima de perforación fue de 6 m.

#### **2.2.5. Muestreo.**

El muestreo se realizó a través de los pozos de perforaciones. Las muestras básicas y complementarias son las que contemplan las diferentes investigaciones de laboratorio.

La muestra básica se tomó a intervalo máximo de 2.0 m, teniendo en consideración la homogeneidad de la capa, en caso que la misma sea de pequeña potencia se puede reducir el intervalo, en caso de que no alcance la masa mínima después de homogenizado y cuarteado enviar toda la potencia útil. El peso de la muestra básica fue mayor de 5 Kg. Las determinaciones que se realizaron en este tipo de muestra fueron: análisis granulométrico por 5 tamices y el cálculo del módulo de finura, porcentaje de material más fino que pasa por el tamiz 200, contenido de impurezas orgánicas y contenido de SO<sub>3</sub> si en las muestras complementarias se detecta presencia significativa. Se tomaron 37 muestras de los 37 pozos perforados en las dos etapa, a las cuales se les realizó las determinaciones en el laboratorio central de la Empresa Geominera de Camagüey, se realizó un control interno a 5 muestras.



## **2.3. Trabajo de laboratorio.**

Las investigaciones de laboratorio se realizarán de acuerdo al tipo de muestra tomada.

Para las muestras básicas se harán las siguientes determinaciones:

- 1- Análisis granulométrico por los tamices: 2.38, 1.19, 0.59, 0.295 y 0.149.
- 2- Módulo de finura
- 3- Porcentaje de material más fino que pasa por el tamiz 200
- 4- Contenido de impurezas orgánicas.
- 5- Contenido de  $\text{SO}_3$  si en las muestras complementarias se detectara su presencia.

Para las muestras Complementarias se harán las siguientes determinaciones:

- 1.-Análisis mineralógico.(se determinará los minerales constituyentes de las arenas y la presencia de minerales sulfurosos)
- 2.-Análisis químico completo. (  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_3$ , PPI).

### **2.3.1.Análisis granulométrico.**

Normas y especificaciones usadas para la evaluación tecnológica de las arenas.

Para la evaluación de la materia útil se usaron las siguientes normas:

- ❖ NC 054-256. Arena de yacimientos. Especificaciones de calidad.
- ❖ NRIB-855. Arena y grava para la construcción. Evaluación tecnológica

Además se usaron otras especificaciones para los pozos tales como:

- ❖ Índice de aprovechamiento mínimo de 60%, dividiéndose en tres clases:
  - Clase I – aprovechamiento > 70%
  - Clase II – aprovechamiento entre 60-70%
  - Clase III – aprovechamiento < 60%
- ❖ Impurezas orgánicas < placa 3.
- ❖ Contenido de gravas: máximo 30%

- ❖ Retenido en el tamiz 200: mínimo 20%
- ❖ Módulo de finura: entre 2.1-3.4%
- ❖ Relación cobertura/roca útil: 1:1
- ❖ Potencia mínima útil: <1.0m.

De acuerdo a la NC 054-256, en función del análisis granulométrico, la materia se clasifica en tres tipos en función del porcentaje pasado por los tamices correspondientes:

- ❖ El tipo 1 es aplicable cuando se cumple con el porcentaje establecido en cada tamiz.
- ❖ El tipo 2 cuando se cumple con el porcentaje establecido en un solo tamiz del tipo 1.
- ❖ El tipo 3 cuando se cumple con el porcentaje establecido en dos tamices de la calidad 1.
- ❖ El tipo 4 es una arena sin calidad ya que no cumple con el porcentaje establecido en tres o más tamices de la calidad 1.

**Tabla # 3. Clasificación de la arena de acuerdo al módulo de finura según NRIB-855.**

<b>Grupos de arena.</b>	<b>Módulo de finura.</b>
Gruesa	2.3-3.5
Media	2.3-2.0
Fina	2.0-1.5
Muy fina	1.5-1.0

El módulo de finura se calcula sumando los porcentos retenidos acumulativos en los tamices y se divide por 100.

### **2.3.2. Análisis químico.**

El análisis químico se realizó con el muestreo complementario con el fin de caracterizar la arena químicamente, tratando de conocer la presencia de elementos perjudiciales, en este caso los sulfuros que están regulados como máximo al 1%. ( ver anexo)

Se tomaron 13 muestras que abarcaron las dos calidades delimitadas por los ensayos básicos, o sea, el índice de aprovechamiento de calidad de las clase I y II, así como el porcentaje pasado por los tamices de los tipos 1y 2 .

### **2.3.3. Análisis mineralógico.**

El análisis mineralógico se realizó con las muestras complementarias, en el mismo laboratorio con el objetivo de determinar la presencia de elementos dañinos en la arena.

Se tomaron 13 muestras que abarcaron las dos calidades delimitadas por los ensayos básicos, o sea, el índice de aprovechamiento de calidad de las clase I y II, así como el porcentaje pasado por los tamices de los tipos 1y 2 .

### **2.4. Trabajos de gabinete.**

Al concluir todos los trabajos de campo y tenerse los resultados del laboratorio evaluados, se realizará el procesamiento de la información y la evaluación de los resultados obtenidos por el laboratorio.

#### **2.3.4.1. Procesamiento de la información.**

En los trabajos de gabinetes nos dimos la tarea de procesar todos los resultados de superficies obtenidos por los métodos geofísicos a través del uso de programas de computación, para este caso se utilizó el AutoCAD Map 2000 y Surfer 8 para confeccionar los mapas y los planos, Excel para crear la base de datos y para confeccionar el informe se uso el Work.

Los resultados se representa a través de:

- ❖ Tablas.
- ❖ Planos.
- ❖ Gráficos.
- ❖ Mapa de anomalías del PES.
- ❖ Mapa de anomalías magnéticas.

- ❖ Mapa de ubicación geográfica.
- ❖ Mapa de datos reales.
- ❖ Mapa geológico.
- ❖ Columnas estratigráficas de los pozos perforados.
- ❖ Informe.

## **CAPÍTULO III: INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.**

### **3.1. Introducción.**

En este capítulo se irán interpretando los resultados de una serie de trabajos con el objetivo de detectar los cuerpos de arena, según los procedimientos explicados en el capítulo anterior, arrojando resultados positivos.

### **3.2. Trabajos de campo.**

En el área de estudio se realizaron una serie de trabajos de campo e investigaciones de laboratorio donde se comprobó la existencia de los cuerpos de arena y se caracterizó para su utilización industrial.

#### ***3.2.1. Itinerario geológico.***

Los Itinerarios geológicos realizados en el área de estudio reflejaron que la zona no presenta aflorabilidad ya que es una zona muy trabajada por el hombre y no fue posible determinar puntos seleccionados al objetivo, esta cubierta por sedimentos cuaternarios recientes de composición arcillosa. No obstante en la zona se observaron cantos rodados de diferente composición los cuales conforman el mosaico de rocas de la zona de estudio, los fragmentos rodados y los bloques pertenecen a rocas de composición ultrabásica (peridotitas), básica (gabroides), volcánicas (tobas, andesitas, basaltos), calizas, conglomerados, calcarenitas y aleurolitas.

#### ***3.2.2. Trabajos geofísicos.***

En el área de estudio se aplicaron métodos geofísicos que permitieron determinar la presencia del posible paleocauce del río Chamba y los cuerpos de arena que se verificaron con los trabajos de perforación.

### *3.2.2.1. Interpretación magnetometría.*

La magnetometría aplicada en el área de estudio según los procedimientos explicados en el capítulo anterior, arrojaron resultados positivos trazándose los supuestos alineamientos siguiendo mayormente las zonas de mínimo magnético y las zonas de gradientes, aprovechando los valores anómalos de menor intensidad ( anexo #3), los cuales pueden estar asociadas a zonas tectónicas por donde pudo haber corrido el río.

En el área se trazaron varios ejes los cuales pudieran tener relación con antiguos paleocauces. Según el mapa hay ejes que coinciden al 100% con las zonas anómalas obtenidas por el PES, otros en partes y otros que se alejan.

Este mapa no fue utilizado del todo debido a que su objetivo principal era servir como apoyo para la correlación y seguimiento de las anomalías eléctricas entre perfiles, lo cual no hizo falta pues las anomalías eléctricas entre perfiles coincidieron sin necesidad de apoyarse en el.

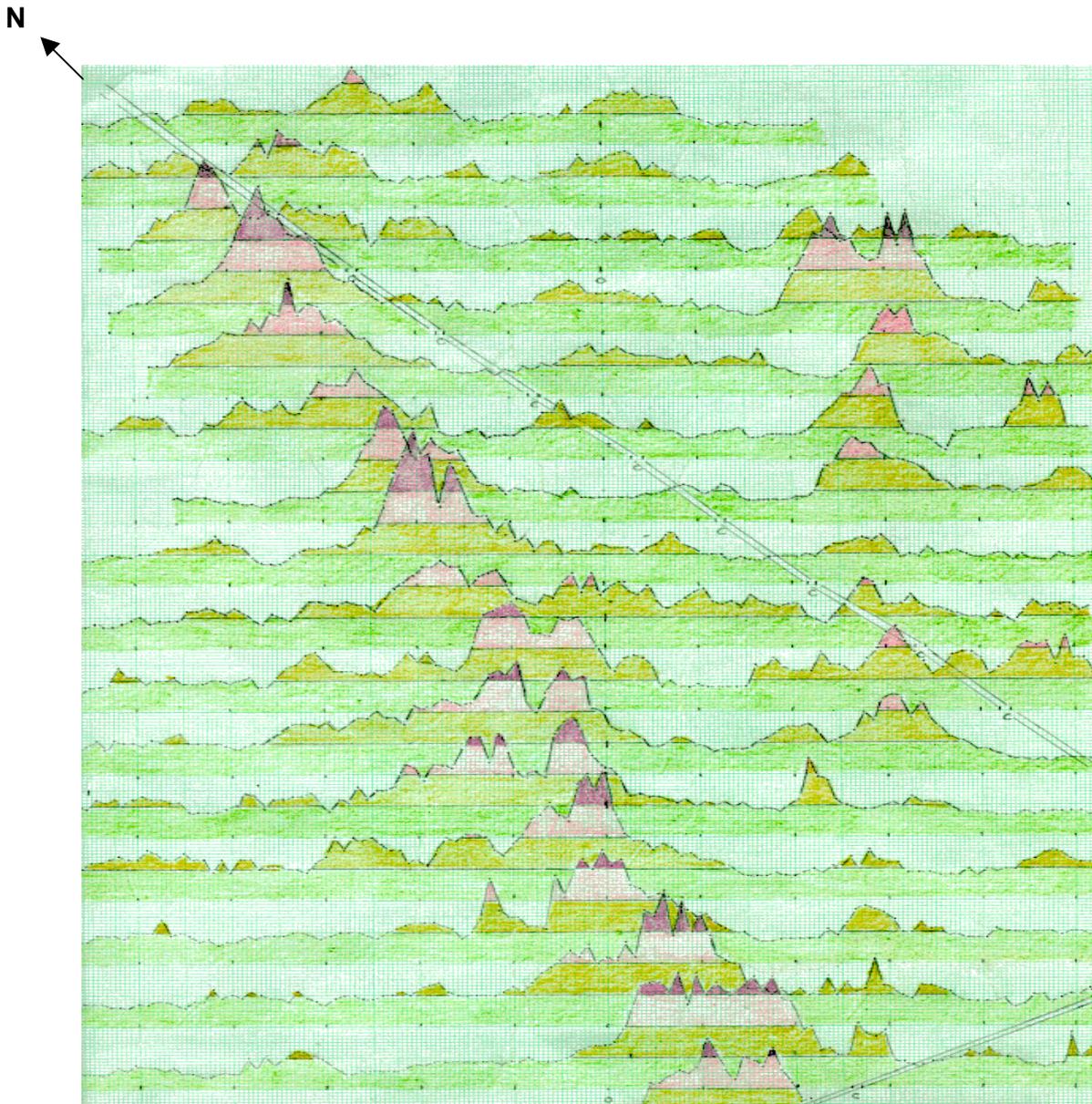
### *3.2.2.2. Interpretación del Perfilaje eléctrico simétrico (PES).*

El Perfilaje Eléctrico Simétrico aplicado en el área de estudio según los procedimientos explicados en el acápite 2.2.3.2. arrojó resultados positivos los cuales permitieron esclarecer algunos aspectos relacionados con la génesis y morfología de antiguos paleocauces. Según se observa en la figura # 10 correspondiente a los perfiles elaborados en condiciones de campo en el área se delimitaron dos alineamientos correspondientes a valores anómalos de PES.

El primer alineamiento denominado Chambas V-a con dirección N-S hacia la parte superior izquierda del área y ligeramente inclinada más al oeste hacia la parte centro inferior con una estructura regular continua y valores elevados 51 ohm-m. Esta forma alineada del campo de PES puede interpretarse en términos de un antiguo paleocauce cubierto actualmente por depósitos cuaternarios recientes de composición arcillosa.

El segundo alineamiento denominado Chambas V-b con dirección NE-SW hacia la parte superior del área y ligeramente inclinada hacia el S en la parte inferior con una estructura irregular y valores de 38 ohm-m, las anomalías en esa zona no son continuas lo que reflejan los cuerpos de arcilla entrelazados con los de arena.

**Tabla # 2. Plano de perfiles realizados con los valores del PES.**



El método del PES delimitó un área de 0.625km<sup>2</sup> con grandes anomalías de resistividad que se asocian por analogía a cuerpos arenosos (ver anexo #4 ), los cuales se disponen en forma de barras alargadas y anchas a veces separadas por sedimentos arcillosos, cuestión que esta que deberá ser aclarada en las etapas posteriores de la investigación cuando se realicen los trabajos de perforación.

Según los trabajos realizados en el perfil Chambas IV ,por encima de 10 ohm-m aparece la arena, por tanto en el plano de resistividad las isolíneas se diferenciaron con paletas de color resaltando los valores más intensos que llegan hasta 51ohm-m.

En el mapa se resaltan las anomalías > 20 ohm-m, donde el cuerpo principal tiene una extensión de 1 600m y un ancho de 90 – 260 m, con un buzamiento hacia el Oeste. Presentando varios epicentros con valores superiores a los 44 ohm-m que por analogía con el perfil Chambas IV, son los cuerpos más cercanos a la superficie. Alrededor de este cuerpo principal existe otro entre los perfiles 100 – 180 que también presentan epicentros con valores superiores a 30 ohm-m , existen otras zonas de interés donde los valores de resistividad no son tan alto (entre los 10 – 20 ohm-m), lo que quiere decir que el cuerpo se encuentra a mayor profundidad.

Según las anomalía del PES se concluye que en el área de estudio existe un depósito arenoso asociado a un sistema aluvial tipo Braided y no al considerado por otros proyectos anteriores sistema aluvial de alta sinuosidad. Esta valoración está fundamentalmente en la morfología de las barras, las cuales son anchas, pudiendo llegar según la bibliografía hasta los 500 y más metros y con formas rectilíneas. Las barras en sistema aluvial de alta sinuosidad son en forma cóncavas y estrechas.

### 3.2.3. Interpretación de los trabajos de perforación en la Etapa de Exploración Primaria.

Las perforaciones aplicadas en la etapa de Exploración Primaria, en el área de estudio según los procedimientos explicados en el capítulo anterior arrojaron 10 pozos de perforaciones de los que se obtuvo un 100% de recuperación de testigo, donde se comprobó que existía arena en la faja de anomalía con valores por encima de los 20 ohm-m según lo reflejado en el PES.

**Tabla 3. Principales resultados de los pozos en la etapa de Exploración Primaria.**

Potencia media		Relación Cub/Roca útil (m)	<u>Área (m<sup>2</sup>)</u>	Volumen (Mm <sup>3</sup> )
Cubierta (m)	Roca útil (m)			
1.66	3.03	1:1.83	625 000	1250

Según lo reflejado en la tabla 3 tenemos un área hipotética de 625 000 m<sup>2</sup> y un volumen de 1250 Mm<sup>3</sup> de arena lo cual cumple con lo solicitado por la entidad .

### 3.2.4. Interpretación de los trabajos de perforación en la Etapa de Exploración Detallada.

En los trabajos de perforaciones de la etapa de Exploración Detallada se realizaron 27 pozos entre los perfiles L-5 y L-11, los cuales tuvieron un 100% de recuperación de testigo, donde se comprobó la existencia de arena que coincidía con las anomalías reportadas por el PES. Los pozos PD-22 Y PD-27 no cumplen con la evaluación tecnológica, es decir no son industriales ya que la cubierta es mayor que la roca útil.

**Tabla #4. Principales resultados de los pozos en la etapa de Exploración Detallada.**

Potencia media		Relación Cub/Roca útil (m)	<u>Área (m<sup>2</sup>)</u>	Volumen (Mm <sup>3</sup> )
Cubierta (m)	Roca útil (m)			
1.9	2.06	1:1.08	333 500	667

Según lo reflejado en la tabla se tiene que el zona entre los perfiles L-5 y L-11, tiene un área de 333 500 m<sup>2</sup> y un volumen de 667 Mm<sup>3</sup>, suponiendo que la capa de roca útil tenga una potencia de 2m.

### 3.3. Resultados del análisis granulométrico.

En función de los resultados del muestreo básico de todos los pozos ejecutados se obtuvo que de los 37 pozos perforados, 13 arrojaron en función del índice de aprovechamiento de calidad de clase II y los restantes 24 se ubicaron en la clase I. Esta valoración se desprende del estudio integral de la arena, por lo que la arena tiene un índice de aprovechamiento entre el 60 y mayor del 70% .

Para el sector de calidad de clase I (Tabla #6), los valores promedios físicos obtenidos fueron.

**Tabla #6 . Valores promedios del índice de aprovechamiento de calidad de clase I.**

Calidad	Grava (%)	Arena (%)	Tamiz más fino de 0.149.	<u>T-200</u>
I	4.2	73.6	22.6	24.6

Como establece la NC 054-256, cuando el valor del tamiz 200 es superior al 20% imposibilita el uso de esta arena en estado natural, por lo que debe ser sometida al cernido y beneficio para su posible uso industrial.

Para el sector donde se delimitó la clase de calidad II debido a que el aprovechamiento oscila entre los 60-70% de arena, los valores promedios obtenidos para el bloque fueron.

**Tabla #7 . Valores promedios del índice de aprovechamiento de calidad de clase II.**

<b>Calidad</b>	<b>Grava (%)</b>	<b>Arena (%)</b>	<b>Tamiz más fino de 0.149.</b>	<b><u>T-200</u></b>
II	13	64.8	22.1	23.8

En esta tabla se observa como la arena de la calidad de la clase II, tampoco puede usarse en su estado natural ya que excede el límite definido por la NC 054-256, por lo que debe ser sometida al cernido y beneficio para su posible uso industrial.

Analizando ahora, no ya el índice de aprovechamiento de calidad que se hizo anterior, sino el índice de calidad en función del por ciento pasado por los tamices, se obtuvo lo siguiente:

Para el sector donde el aprovechamiento fue catalogado como índice de aprovechamiento de calidad de clase I, el por ciento pasado por los tamices se enmarca en el tipo 1.

Para el sector donde el aprovechamiento fue delimitado como índice de aprovechamiento de calidad de clase II, el por ciento pasado por los tamices se enmarca en el tipo 2.

En la tabla #8 de los resultados de los análisis granulométricos de los pozos, se determinan parámetros importantes para su utilización en la construcción, como son el módulo de finura de la arena beneficiada que se calcula sumando los porcentos retenidos acumulados en los tamices y se divide por 100

Analizando los resultados de la tabla #8 podemos decir que de acuerdo al módulo de finura la arena son de tipo gruesa, lo cual cumple con la clasificación de las arenas, de acuerdo a la NRIB-855. La materia orgánica se comporta menor que la placa 3, lo cual cumple con la NC 054-256. El contenido de grava en la arena no sobrepasa el 20%, lo cual cumple pues es inferior al 30%. Lo que indica que la arena se puede utilizar con fines constructivos.

**Tabla #8 .Resultados de los análisis granulométricos de los pozos.**

Pozo No.	Intervalo	Pot. Útil	Arena integral				2,38	1,19	0,59	0,295	0,149	M.F	Imp.Org.	Calidad	Evaluación tecnológica
			Grava	Arena	< 0.149	T - 200	mm	mm	mm	mm	mm				
PP-1	1.7-4.7	3,0	7,5	71,2	21,3	22,8	20,7	17,1	23,8	24,7	13,5	3,06	<pl3	1	P
PP-2	1.7-4.7	3,0	2,5	75,3	22,2	24,8	11,9	14,1	28,3	32,2	13,5	2,78	<pl3	1	P
PP-3	1.5-4.5	3,0	6,6	70,9	22,5	24,4	20,4	17,3	25,4	21,1	15,7	3,05	<pl3	1	P
PP-4	1.5-4.6	3,1	1,2	75,6	23,2	25,4	23,4	19,3	23,4	22,8	10,9	3,20	<pl3	1	P
PP-5	1.7-4.9	3,2	4,3	72,3	23,4	25,8	21,3	20,1	27,8	21,1	9,5	3,22	<pl3	1	P
PP-6	1.8-4.8	3,0	7,7	70,9	21,4	23,0	22,5	19,8	27,1	19,1	11,5	3,22	<pl3	1	P
PP-7	1.5-4.5	3,0	3,0	75,3	21,7	22,9	20,9	17,9	22,8	25,6	12,6	3,08	<pl3	1	P
PP-8	1.7-4.7	3,0	2,1	74,8	23,1	25,8	16,6	17,2	26,3	26,1	13,5	2,96	<pl3	1	P
PP-9	1.8-4.8	3,0	5,0	70,8	24,2	25,9	18,8	17,4	24,5	24,3	12,2	2,97	<pl3	1	P
PP-10	1.7-4.7	3,0	2,3	71,8	25,9	27,0	23,1	16,2	23,8	23,0	13,9	3,14	<pl3	1	P
PD-1	1.7-4.8	3,1	6,8	72,4	20,8	21,9	20,7	17,9	24,1	23,7	13,4	3,08	<pl3	1	P
PD-2	1.9-4.4	2,5	12,5	65,3	22,2	24,8	33,2	17,8	21,2	19,8	8,0	3,48	<pl3	2	P
PD-3	1.3-4.3	3,0	3,4	73,5	23,1	25,8	22,4	16,6	24,5	21,7	11,3	3,06	<pl3	1	P
PD-4	1.8-3.8	2,0	2,3	75,6	22,1	24,9	22,4	18,1	24,8	22,7	11,8	3,16	<pl3	1	P
PD-5	1.6-4.0	2,4	5,3	71,4	23,3	26,0	22,7	18,6	26,9	20,5	11,2	3,20	<pl3	1	P
PD-6	1.7-4.7	3,0	13,9	64,8	21,3	23,0	24,7	19,3	26,0	20,5	9,5	3,34	<pl3	2	P
PD-7	1.7-4.8	3,1	16,6	60,9	22,5	23,6	25,8	22,3	27,6	16,6	7,3	3,41	<pl3	2	P
PD-8	1.9-4.6	2,7	13,0	65,6	21,4	22,7	24,4	18,2	24,6	21,2	11,3	3,22	<pl3	2	P
PD-9	1.7-4.5	2,8	5,9	72,7	21,4	23,0	18,0	15,4	23,8	28,5	14,1	2,94	<pl3	1	P
PD-10	1.8-4.0	2,2	4,4	73,6	22,0	23,9	20,6	15,0	22,1	23,9	18,2	2,95	<pl3	1	P
PD-11	1.7-4.6	2,9	13,0	63,8	23,2	24,9	25,9	16,1	22,8	21,5	13,8	3,19	<pl3	2	P
PD-12	1.7-4.9	3,2	7,3	70,8	21,9	24,6	22,0	17,4	22,7	23,0	14,6	3,08	<pl3	1	P
PD-13	1.9-4.9	3,0	14,4	62,5	23,1	24,9	25,7	17,5	22,3	19,4	15,1	3,19	<pl3	2	P
PD-14	2.5-5.1	2,6	14,1	63,8	22,1	24,0	23,7	18,1	23,0	23,1	11,9	3,18	<pl3	2	P
PD-15	1.5-4.7	3,2	5,2	73,9	22,9	24,8	16,3	13,9	22,4	29,5	17,7	2,81	<pl3	1	P
PD-16	1.9-4.2	2,3	4,9	73,8	21,3	24,8	19,4	16,6	22,7	24,8	16,3	2,97	<pl3	1	P
PD-17	1.7-4.1	2,4	2,1	75,9	22,0	23,7	22,7	17,8	25,1	23,3	11,0	3,17	<pl3	1	P
PD-18	1.8-4.8	3,0	4,1	73,4	22,5	24,0	22,5	17,1	22,7	24,8	12,9	3,13	<pl3	1	P
PD-19	2.3-5.1	2,8	8,4	67,4	24,2	25,9	24,2	17,4	23,9	23,3	11,1	3,20	<pl3	2	P
PD-20	1.8-4.8	3,0	13,4	64,9	21,7	23,0	25,1	18,4	22,2	22,4	11,1	3,21	<pl3	2	P
PD-21	2.3-4.6	2,3	12,1	67,3	20,6	22,4	25,0	18,3	24,7	18,3	13,6	3,22	<pl3	2	P
PD-22	2.7-4.7	2,0	8,7	68	23,3	25,1	27,5	18,5	21,4	18,7	13,7	3,26	<pl3	2	NI
PD-23	1.8-4.2	2,4	2,8	72,9	24,3	25,9	21,6	18,5	23,6	24,0	12,1	3,12	<pl3	1	P
PD-24	2.2-4.6	2,4	3,0	73,8	23,2	25,8	16,7	15,0	25,1	25,8	18,0	2,88	<pl3	1	P
PD-25	2.0-4.3	2,3	1,7	75,8	22,5	24,2	16,2	14,6	24,2	23,1	21,6	2,79	<pl3	1	P
PD-26	1.9-4.4	2,5	16,3	62,3	21,4	23,4	24,3	17,8	25,4	20,0	12,5	3,21	<pl3	2	P
PD-27	2.5-4.7	2,2	12,7	66,4	20,9	22,2	29,5	17,2	21,4	18,9	17,7	3,36	<pl3	2	NI

M F – Módulo de finura.

P – Positivo.

NI – No industrial.

### 3.4. Resultados de los análisis químicos.

Los resultados de los análisis químicos indicaron que el elemento perjudicial  $\text{SO}_3$  está por debajo de 0,1%, o sea que el mineral cumple con la norma establecida. Por otra parte se hizo una valoración de otros óxidos y se obtuvo que tanto para el sector 1 y 2, la composición es uniforme, lo que indica la presencia de fragmentos de diferentes composiciones lo cual está dado por el mosaico de rocas que conforma la zona de estudio. Todos estos fragmentos pertenecen a rocas de composición ultrabásica (peridotitas), básica (gabroides), volcánicas (tobas, andesitas, basaltos), calizas, conglomerados, calcarenitas y aleurolitas.

**Tabla # Contenidos químicos para cada calidad.**

<b>Calidad</b>	<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	<b>MgO (%)</b>	<b>CaO (%)</b>	<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	<b>Na<sub>2</sub>O (%)</b>	<b>SO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>TiO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>PPI (%)</b>
1	53.07	14.81	6.95	6.57	8.10	0.45	2.95	<0.1	0.93	4.97
2	52.38	14.83	6.26	6.27	9.25	0.54	3.30	<0.1	0.79	5.70

### 3.5. Resultados de los ensayos mineralógicos.

Los resultados de los ensayos mineralógicos son cualitativos reflejando una composición mineralógica predominantemente máfica cuyo origen en el caso de las fracciones superiores a 0.63 mm pudiera atribuirse a diversas fuentes tales como ultrabasitas y rocas volcánicas máficas, mientras que las fracciones más finas inferiores a 0.63 mm con valores por encima del 50 % en peso pudieran corresponderse a rocas volcánicas félsicas.

El análisis mineralógico de la muestra beneficiada refleja un predominio de los minerales oscuros con valor de 53.2 % en peso con relación a los componentes de origen félsicos que alcanza un valor de 32.9 % en peso. Esto se debe a que durante el tamizado y lavado de la arena los materiales finos en que predomina la fracción enriquecida en componente félsico es eliminada debido a su menor densidad.

Estos análisis no lograron la existencia de sulfuros que son en definitiva los principales componentes dañinos para el empleo de la materia prima con fines constructivos. Este ello es confirmado por los análisis químicos al comprobarse que para la calidad 1 y 2 el contenido de SO<sub>3</sub> es inferior a 0.1 %.

**Tabla # 10 Análisis mineralógico de las muestras beneficiadas para la Calidad 1.**

<b>Fracción mm</b>	<b>C+F (%)</b>	<b>F.R.F (%)</b>	<b>F.R.M. (%)</b>	<b>H.H (%)</b>	<b>MAG. (%)</b>	<b>E.P.D. (%)</b>	<b>CRO (%)</b>	<b>ANF (%)</b>	<b>Total (%)</b>
5-2.5	2.8	11.0	86.0	-	-	-	-	-	99.8
2.5-1.25	5.2	26.3	68.3	-	-	-	-	-	99.8
1.25-0.63	11.9	37.4	49.1	0.6	0.2	0.3	0.1	0.1	99.7
0.63-0.315	15.1	51.5	27.8	0.6	2.0	1.7	0.3	0.3	99.7
0.315-0.16	18.1	52.5	20.5	0.8	2.9	2.3	0.4	0.5	98.0
Muestra beneficiada	10.0	32.9	53.2	0.4	0.8	0.7	0.1	0.1	98.2

**Tabla # 11 Análisis mineralógicos de las muestras beneficiadas para la Calidad 2.**

<b>Fracción</b>	<b>C+F</b>	<b>F.R.F</b>	<b>F.R.M.</b>	<b>H.H</b>	<b>MAG.</b>	<b>E.P.D.</b>	<b>CRO</b>	<b>ANF</b>	<b>Total</b>
<b>mm</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
5-2.5	4.06	21.2	73.9	-	-	-	-	-	99.16
2.5-1.25	9.9	23.3	65.7	-	-	-	-	-	98.9
1.25-0.63	11.9	28.5	56.1	0.7	1.2	0.8	0.1	-	99.3
0.63-0.315	16.8	52.7	23.45	0.7	2.05	2.35	0.7	0.4	99.15
0.315-0.16	22.2	49.35	20.7	0.9	2.6	2.5	0.7	0.5	99.45
Muestra beneficiada	11.7	31.6	54.8	0.4	0.8	1.1	0.3	0.1	100.8

C+F- cuarzo más feldespato

F.R.F- Fragmentos de roca félsica.

F.R.M- Fragmentos de roca máficas

H.H- Hidróxido de hierro

MAG- magnetita

EPD- Epidota

CRO- cromita

ANF- Anfíbol

## CONCLUSIONES

- ❖ Los Itinerarios geológicos reflejaron que la zona esta cubierta por sedimentos cuaternarios recientes de composición arcillosa. No obstante en la zona se observaron cantos rodados de diferente composición los cuales conforman el mosaico de rocas de la zona de estudio.
- ❖ La magnetometría reflejó supuestos alineamientos siguiendo mayormente las zonas de mínimo magnético y las zonas de gradientes, aprovechando los valores anómalos de menor intensidad. Según el mapa hay ejes que coinciden al 100% con las zonas anómalas obtenida por el PES, otros que se alejan.
- ❖ El método del PES delimitó un área de  $0.625\text{km}^2$  con dos alineamientos, el primero con dirección N-S hacia la parte superior izquierda del área y ligeramente inclinada más al W hacia la parte centro inferior y el segundo con dirección NE-SW hacia la parte superior del área y ligeramente inclinada hacia el S en la parte inferior.
- ❖ Según las anomalía del PES se concluye que en el área de estudio existe un depósito arenoso asociado a un sistema aluvial tipo Braided y no al considerado por otros proyectos anteriores sistema aluvial de alta sinuosidad. Esta valoración está fundamentalmente en la morfología de las barras, las cuales son anchas, pudiendo llegar según la bibliografía hasta los 500 y más metros y con formas rectilíneas. Las barras en sistema aluvial de alta sinuosidad son en forma cóncavas y estrechas.
- ❖ Se perforaron 37 pozos en las dos etapas, los cuales tuvieron un 100% de recuperación de testigo, donde se comprobó la existencia de arena que coincidía con las anomalías reportadas por el PES y de ellos solo 2 no cumplen con la evaluación tecnológica.

- ❖ Según los análisis mineralógicos se concluye que de acuerdo al módulo de finura la arena son de tipo gruesa. La materia orgánica se comporta menor que la placa 3. El contenido de grava en la arena no sobrepasa el 20%. El porcentaje pasado por el tamiz 200 es superior al 20% lo que imposibilita el uso de esta arena en estado natural, por lo que debe ser sometida al cernido y beneficio para su posible uso industrial.
  
- ❖ Los resultados de los análisis químicos indicaron que el elemento perjudicial  $\text{SO}_3$  está por debajo de 0,1%.
  
- ❖ Los resultados de los ensayos mineralógicos son cualitativos reflejando una composición mineralógica predominantemente máfica cuyo origen en el caso de las fracciones superiores a 0.63 mm pudiera atribuirse a diversas fuentes tales como ultrabasitas y rocas volcánicas máficas, mientras que las fracciones más finas inferiores a 0.63 mm con valores por encima del 50 % en peso pudieran corresponderse a rocas volcánicas félsicas.

## **RECOMENDACIONES.**

- ❖ Realizar análisis mineralógicos y químicos rigurosos por otros laboratorios ya que los realizados en el presente trabajo no permite revelar las fuente primarias de la arena.
- ❖ Culminar el estudio de toda la zona detectada por el PES.
- ❖ Partiendo de los resultados de los análisis granulométricos la arena analizada debe ser beneficiada para su uso industrial.

## BIBLIOGRAFÍA.

- ❖ Arche. A. Sedimentología. Tomo- I. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. 1992.
- ❖ Ariosa. J. 1984 Curso de yacimientos minerales no metálicos.
- ❖ Biblioteca de Consulta Microsoff Encarta 2005. 1993-2004 Microsoff Corporation.
- ❖ Blanco.J y Fiqueras.M. 1996. Yacimiento Reforma. Reporte Técnico (inedito). Fondo UPEP Majagua. Ciego de Ávila.
- ❖ Blanco. J. 1999. Tesis en grado científico de doctor en ciencias geológicas. Estratigrafía y paleogeografía de las cuencas superpuestas de Cuba centro oriental.
- ❖ Bridge. J. S. 1985. Paleochannel patterns inferred from alluvial deposits: a critical evaluation. Jour. Sed. Petrology,55,4,579-589p.
- ❖ Cant. D. J y Walker, R. G. 1978: Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. Sedimentology,25,625-648p.
- ❖ Friend. P .F.1983. Towards the field classification of alluvial architecture or séquence. In: Moder and Ancient Fluvial Systems. Ed. By J. D. Collinson and J. Lewin, Int. Assoc. Sediment. Spec. Pub. 6:195-206.
- ❖ González. H. y otros. Informe Final del yacimientos Chambas. 1975.
- ❖ Informe de la Academia de Ciencia Cuba-Bulgaria 1:250 000.
- ❖ Vinet Iturralde. 1997. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Inedito.

- ❖ Vinet Iturrealde.1994. Cuban geology: A new plate tectonic síntesis. Journal of Petroleum Geology 17 39-70p
- ❖ Vinet Iturrealde.1996. Introduction to Cuban Geologic and Geophysis En : Ofiolitas y Arcos volcánicos de Cuba. Vinet Iturrealde (ed) Miami. Florida 83-120p
- ❖ Vinet Iturrealde, Tchounev. D. y otros. 1981. Geología del territorio de Ciego de Ávila-Camagüey- Las Tunas: Resultados de las investigaciones científicas de Cuba y Bulgaria ( inedito) ONRM. La Habana940p
- ❖ Léxico Estratigráfico.1994.
- ❖ Leopold. L. And Wolman. M. 1957. River Channel patters: Braided, meandering and straight. V.S. Geol. Sur. Prof>282B, 39-85p
- ❖ Mapa Geológico de la República de Cuba 1:100 000
- ❖ Marek. M. y otros. Informe sobre la Búsqueda de arena para la construcción en los alrededores del río Chambas y Calvario. 1969.
- ❖ NC 054-256-83. Materiales y productos de la construcción. Arena de yacimientos. Especificaciones de calidad.
- ❖ NRIB 855-1986. Prospección geológica. Arena y grava para la construcción. Evaluación tecnológica.
- ❖ NRIB 875-1986. Prospección geológica. Yacimientos de arena y grava para la construcción.
- ❖ Normativas Empresarial del MINBAS sobre gastos de tiempo y costos de las diferentes actividades de la rama geológica.

❖ Pérez. N. Y otros. Informe de Prospección Preliminar y Detallada y Exploración Orientativa Chambas IV. 1999.

❖